This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

Über dieses Buch

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

Nutzungsrichtlinien

Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

+ *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.

+ *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.

+ *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.

+ *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

Über Google Buchsuche

Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter `http://books.google.com` durchsuchen.

QC
705
M3

$B 24 322

YC 11025

LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY OF CALIFORNIA.
GIFT OF
Rostock Univ.
Class

Wirkung magnetischer Querkräfte auf einen Gleichstromlichtbogen mit gradliniger Strombahn.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

der

philosophischen Fakultät der Landes-Universität Rostock

vorgelegt von

Emil Martinn
aus Berlin.

Rostock
H. Winterberg's Buchdruckerei.
1904.

QC705
M3

Referent: Herr Prof. Dr. Wachsmuth.

Meinen lieben Eltern

in Dankbarkeit gewidmet!

159814

LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY
OF
FORNIA

Inhalt.

Einleitung.
I. Verfuchsanordnung:
1. Aufgabe der Unterfuchung
2. Apparate und Hilfsmittel
3. Mefsverfahren.
II. Der nicht beeinflufste Lichtbogen:
4. Stromftärke, Spannung und Bogenlänge
5. Kohlenart und Bogenlänge
6. Stromftärke und Kernftärke.
III. Der Lichtbogen im Kraftfeld:
7. Kraft und Spannungsänderung
8. Kraft und Formänderung
9. Spannung und Bogenänderung
10. Einfluls der Kohlenart.
IV. Ergebnis der Unterfuchung:
11. Zufammenfaffung
12. Ungenauigkeiten und Fehler.
Schluls.
Quellenverzeichnis.

Einleitung.

Im Anfange des verfloſſenen Jahrhunderts bereits, zu einer Zeit als die Elektrophyſik erſt im Beginn ihrer ungeahnten Entwicklung und Ausgeſtaltung ſtand und die Forſcher noch über wenige techniſche Hilfsmittel verfügten, war mehrfach[1] jene glänzende Erſcheinung beobachtet worden, welche ihre Bezeichnung als „elektriſcher Lichtbogen“ einem ihrer Entdecker, Sir Humphry Davy[2] verdankt, der ſie beſonders zum Gegenſtand der Unterſuchung machte. Im Jahre 1820, bald nachdem Oerſtedt den Elektromagnetismus gefunden hatte, erkannte Arago,[3] daſs der elektriſche Lichtbogen ſeinem ganzen Weſen nach ſich wie ein biegſamer und dehnbarer Leiter verhalten und als ſolcher auch durch magnetiſche Kräfte beeinflufst werden müſſe; indeſſen konnte er mangels einer genügend ſtarken Spannungsquelle den Verſuch nicht ſelbſt anſtellen. Davy aber war, bereits einen Monat bevor Arago ſeine Anſicht veröffentlichte, zur gleichen Auffaſſung gelangt[4] und konnte im folgenden Jahre (1821) berichten, daſs ſie durch den Verſuch vollkommen beſtätigt wurde:[2]

»... the poles were connected by charcoal, so as to make an arc, or column of electrical light, varying in length from one to four inches, according to the state of rarefaction of the atmosphere in which it was

produced; and a powerful magnet being presented to this arc or column, having its pole at a very acute angle to it, the arc, or column, was attracted or repelled with a rotatory motion . . .«

Dieſer Wortlaut der Davy'ſchen Mitteilung iſt nach zwei Richtungen hin beachtenswert. Einmal erklärt ſich daraus die eigentümliche Tatſache, daſs in ſpäteren Abhandlungen öfters auch in ſolchen Fällen von einer Rotation des elektriſchen Lichtbogens die Rede iſt, wo eine Umlaufbewegung — gleichviel ob über einen ganzen Kreisumfang oder einen Bruchteil davon — garnicht ſtattfinden kann. Davy benutzte ja bekanntlich wagerechte Elektroden, zwiſchen deren Spitzen der Lichtbogen durch die Wärme nach oben getrieben wurde und ſo durch ſeine Form den Anlaſs zu ſeiner Bezeichnung als Lichtbogen gab. Unter der gleichzeitigen über diejenige der Wärme gelagerten Wirkung eines Magneten konnte der Lichtbogen eine ſeiner vorherigen ähnliche Form, jedoch in einer anderen Ebene annehmen, und dieſe Ablenkung muſste als eine Drehung des Lichtbogens erſcheinen. Zweitens aber zeigt die angeführte Stelle, daſs Davy über das Weſen der magnetiſchen Beeinflussung des Lichtbogens doch noch nicht zu völliger Klarheit gelangt war, denn es tritt keine Anziehung oder Ablöſung, d. i. eine Bewegung in Richtung der magnetiſchen Kraft, ſondern eine Bewegung ſenkrecht zu dieſer ein. Die Davy'ſche Deutung ſcheint jedoch jahrelang unbeanſtandet geblieben zu ſein, denn in den von 1841 bis 1847 veröffentlichten Arbeiten von Walker,[5] Daniell,[6] Caſſelmann,[7] de la Rive,[8] welche ſich alle mehr oder weniger eingehend mit dem Gegenſtand beſchäftigten, iſt keinerlei Hinweis zu finden, dagegen bemerkt andrerſeits Quet[9] 1852 aufgrund eigens erdachter Verſuche ausdrücklich, daſs der Magnet

». . .n'agit pas comme par des forces attractives ou répulsives émanant des pôles mêmes. Il n'y a donc pas lieu d'appliquer ici l'énoncé que Davy a donné au phénomène qu'il a découvert. La formation du dard électrique et la direction qu'il prend se conçoivent, au contraire, fort naturellement, d'après les propriétés des solénoïdes et les actions que les aimants exercent sur les courants.«

Die Abhandlung, welcher diese Stelle entlehnt ist, enthält wertvolle Angaben über die Untersuchungen, welche Quet über die im allgemeinen als „magnetischer Wind" bezeichnete[10] Erscheinung angestellt hat; Quet teilt vor allem einige Zahlenwerte mit, wenn man auch leider über die elektrischen Grösen nichts bemerkt findet — ein Mangel, welcher, in dem damaligen Stande der Meskunde begründet, auch in Werken aus noch viel späterer Zeit vielfach zutage tritt. Es gelang Quet unter Anwendung eines Elektromagneten Rühmkorff'scher Bauart den Lichtbogen bei einem Kohlenabstand von höchstens 1 mm auf eine Länge von 30 bis 40 mm wie eine Stichflamme mittels des Lötrohrs hinauszublasen; bei gröserer Elektrodenentfernung lies sich im magnetischen Felde der Lichtbogen nicht mehr erhalten, wogegen die Kohlen bis auf etwa 4 mm auseinander gezogen werden konnten, solange die Magnetspulen nicht eingeschaltet waren. Übrigens entging Quet die praktische Bedeutung seiner Versuche keineswegs, auf welche in der Tat zahlreiche, in der Technik heute übliche Verfahren und Vorrichtungen zurückgeführt werden können, z. B. das elektrische Löten, Schmelzen und Schweisen nach Werdermann[11] (1874, mit parallelgestellten Kohlen nach Art der späteren Jablochkoff'schen Kerze) und nach Zerener[14] (mit Kohlen in Winkelstellung), die magnetische Funken-

löschung bei Schaltern und die magnetischen Gebläse für Lichtbogenlampen, um den Bogen an den Kohlenenden festzuhalten (1879 bei der Jamin'schen Kerze[15] und in den letzten Jahren bei den Flammenbogenlampen,[16] allerdings mit zweifelhaftem Vorteil hinsichtlich der Lichtausbeute,[17] angewendet).

Den von Quet und seinen Vorgängern gefundenen Tatsachen widmete im Jahre 1859 Plücker umfassende theoretische Abhandlungen,[18] in welchen er u. a. folgende Sätze aufstellte:

„Wenn auf einen vollkommen biegsamen Leiter, durch welchen ein elektrischer Strom geht, beliebige magnetische Kräfte wirken, so kann Gleichgewicht nur dann bestehen, wenn jedes Element des Leiters so gerichtet ist, dass die magnetische Wirkung auf dasselbe verschwindet, d. h. wenn der Leiter die Form einer magnetischen Kurve annimmt." Ferner:

„Unter der Einwirkung des Magneten nimmt der Davy'sche Lichtbogen die Form einer magnetischen Kurve an, wenn die Endpunkte der beiden Elektroden gegen den Magneten eine solche Lage haben, dass sie zwei Punkte derselben magnetischen Kurve sind. Wenn die Endpunkte der beiden Elektroden in eine andre Lage gebracht werden, wo dies nicht mehr der Fall ist, da kann der Bogen nicht mehr fortbestehen; er muss zerreissen . ."

Im folgenden Jahrzehnt ist ein Fortschritt auf diesem Gebiete der Lichtbogenforschung nicht zu verzeichnen, ja man muss sogar aus einer im Jahre 1872 von Houlton veröffentlichten Mitteilung[19] schliessen, dass die Ergebnisse, zu welchen namentlich de la Rive und Quet gelangt waren, nicht in weiteren Kreisen bekannt geworden oder teilweise wieder in Vergessenheit geraten waren:

». . . J noticed a fact which J believe has hitherto escaped observation . . . . Wishing to show the well-

known experiment of the rotation of the light by a magnet, J approached a compound bar magnet to the light, holding it with one end pointing directly to the arch, in a horizontal plane equidistant between the carbon electrodes. When the nearest end of the magnet was four inches from the electrodes, the light was instantly extinguished . . . . . Though J have failed to find any published notice of this phenomenon, it seems probable that it may already have been observed . . .«

Inzwiſchen hatte im Jahre 1867 Siemens das dynamoelektriſche Prinzip aufgeſtellt, als deſſen unmittelbare praktiſche Folge die erſten Dynamomaſchinen (1871 von Gramme, 1872 von von Hefner-Alteneck) aufkamen. Der gewaltige Aufſchwung, den von dieſem Zeitpunkt an die Elektrotechnik nahm, kam auch dem Bogenlicht und den phyſikaliſchen Unterſuchungen des Lichtbogens zugute, erſtens inſofern als nunmehr die dazu erforderlichen Spannungen und Stromſtärken jederzeit mit Leichtigkeit hergeſtellt werden konnten, zweitens inſofern als den ſteigenden Anſprüchen der jungen Technik entſprechend die Meſsverfahren und Meſsinſtrumente auf der Grundlage eines einheitlichen Maſsſyſtems immer mehr vervollkommnet wurden. Gleichzeitig jedoch wandte man ſich bei der Erforſchung des elektriſchen Lichtbogens anderen und neuen Gebieten, namentlich den elektriſchen und chemiſchen Vorgängen im Bogen, zu, und unter der groſsen Fülle von Mitteilungen begegnet man nur verhältnismäſsig wenigen über das Verhalten eines durch äuſsere Kräfte beeinfluſsten Bogens:

Stanley[20] ſowohl wie Andrews[21] bringen einen zwiſchen ganz eigenartig geformten Kohlenelektroden erzeugten Lichtbogen durch ein magnetiſches Feld zur Rotation, S. P. Thompſon[12] und auch Salomons[22] beobachten die magnetiſchen Einwirkungen auf

Wechselstromlichtbögen und Fleming[23] wandte bei seinen Untersuchungen über die Art der Elektrizitätsleitung im Lichtbogen einen Stabmagneten an, um den Bogen auf eine dritte, als Hilfselektrode dienende Kohle hinüberzulenken. Eine besondere Gruppe für sich endlich bilden, wenn man sie noch in das Gebiet mit einbegreifen will, die Versuche über den von Simon[24] im Jahre 1897 entdeckten sprechenden Flammenbogen. Hier spielt der Lichtbogen im allgemeinen die Rolle des Telephons; man kann ihn aber auch als Mikrophon benutzen,[25] wobei er durch die Schallwellen wie eine Membran in Schwingungen versetzt wird.

Es lag nun die Frage nahe, ob man eine ähnliche Wirkung wie durch die Schallwellen nicht auch durch magnetische Stöße hervorbringen könnte, indem man den Lichtbogen durch ein magnetisches Feld beeinflußt, dessen Stärke man in schnellem Wechsel passend erhöht oder vermindert. Ehe man jedoch an die Beantwortung dieser Frage durch Versuche herantreten durfte, galt es, dafür erst die notwendige Grundlage zu schaffen, an welcher es bisher gemangelt hat. Denn wenn man auch von früheren Forschern her wußte, in welcher Weise ungefähr magnetische Kräfte auf den elektrischen Lichtbogen einwirken, so lagen doch über die absoluten Größen der angewandten Kräfte und der durch sie hervorgerufenen Änderungen des Lichtbogens nur ganz vereinzelte und unvollständige Angaben vor.[26]

Hier anzugreifen, diese Verhältnisse einer genaueren Betrachtung zu unterziehen und so zu jener erforderlichen Grundlage einen Baustein mit beizutragen, war der Zweck einer Anzahl von Versuchen, die im folgenden näher beschrieben werden sollen.

Erster Teil.

Versuchsanordnung.

1. Aufgabe der Untersuchung.

Von vornherein stellte es sich als zweckmäßig heraus, die Untersuchungen auf ein ziemlich enges Gebiet zu beschränken, für dessen Begrenzung folgende, teils in dem zu behandelnden Gegenstand selbst, teils in den obwaltenden äußeren Verhältnissen begründete Gedanken maßgebend waren. Die Empfindlichkeit des Lichtbogens gegen äußere Einflüsse wächst mit seiner Länge, und die Formen, in denen sie sich äußert, gewinnen in gleichem Maße an Deutlichkeit. Daher empfahl es sich, mit der Lichtbogenspannung über das gebräuchliche Maß von 45 Volt soweit hinauszugehen, wie es die zur Verfügung stehende Gleichstromquelle zuließ. Da andrerseits zur Sicherung des städtischen Leitungsnetzes vor den Gebrauchsanschlüssen dauernd ein Ballastwiderstand von ungefähr 20 Ohm eingeschaltet lag und die Netzspannung 220 Volt betrug, so konnte ein Strom von 6 Ampere bei einer Spannung von nicht mehr als etwa 100 Volt entnommen werden. Zwischen den so gegebenen Grenzen von rund 50 und 100 Volt im allgemeinen wurde der Lichtbogen mit der der jeweiligen Spannung entsprechenden höchsten Stromstärke unterhalten; doch konnte bei einigen Versuchsreihen die Spannung bis zu 150 Volt gesteigert werden.

Von den verschiedenen möglichen Elektrodenstellungen konnte weder die erwähnte Anordnung von Davy mit wagerechten Kohlen noch die von Staite (1846) getroffene und späterhin mehrmals, vor allem in den letzten Jahren bei den Bremerlampen wieder aufgenommene Winkelanordnung (welche übrigens auch Quet neben der gewöhnlichen Übereinanderstellung zur Anwendung brachte) inbetracht kommen; denn bei jener treten infolge des Auftriebs der erwärmten Luft, bei dieser infolge eines durch den Lampenstromkreis selbst erzeugten magnetischen Feldes[17] störende Nebenerscheinungen auf. Es blieb somit allein die übliche Stellung der Kohlen senkrecht über einander, durch welche eine senkrechte, gradlinige Strombahn erzeugt wird. Dies erlaubte allerdings nur die gewöhnlichen Homogenkohlen und Dochtkohlen zu benutzen, während die mit Metallsalzen getränkten Flammenbogenkohlen, die wegen der starken Schlackenbildung im Winkel gegen einander angeordnet werden, in den Kreis der Beobachtungen nicht mit einbegriffen wurden.

Was endlich die magnetischen Kräfte anbelangt, deren Einwirkung der Lichtbogen unterworfen werden sollte, so mußte man möglichst danach trachten, die Bedingungen der Flemingschen Regel zu erfüllen, wodurch sich die Untersuchungen am übersichtlichsten gestalten, d. h. die Kraftrichtung mit der Richtung der Strombahn einen rechten Winkel einschließen zu lassen. In diesem Sinne also bildet den Gegenstand der Behandlung die Wirkung magnetischer Querkräfte auf den Gleichstromlichtbogen mit gradliniger Strombahn.

2. Apparate und Hilfsmittel.

Für die Auswahl und den Aufbau der Apparate gaben die umfassenden, von Frau H. Ayrton[27] auf diesem Gebiet ausgeführten Arbeiten einigen Anhalt. Als Lampe diente ein soge-

nannter Handregulator, bei welchem der untere Kohlenhalter fest war, der obere durch einen Zahnstangentrieb mit einem Spielraum von 60 mm auf und abbewegt werden konnte; ausserdem waren die beiden wagerechten Arme (aus Hartgummi), welche die Kohlenhalter trugen, in ihrer Höhe und der Entfernung von einander verstellbar. Die Kohlenhalter selbst erlaubten durch Schrauben die Kohlen so festzuhalten, dass ihre freien Enden immer nahezu die gleiche Länge hatten. Daher brauchten für die Messung der Spannung an den Elektroden nicht besondre Stromzuführungen und Kontakte durch Spitzen oder Bürsten vorgesehen zu werden, sondern die Spannungsleitung konnte durch die Kohlenhalter ebenfalls angeschlossen werden.

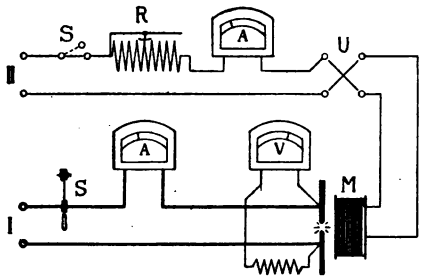


Abb. 1.

Die Spannungsmessung erfolgte durch ein Präzisionsmillivoltmeter von Siemens & Halske, welches, ursprünglich nur für einen Messbereich bis 150 Volt eingerichtet, nach Vorschaltung eines Widerstandes von 2000 Ohm für den erforderlichen Messbereich bis 250 Volt besonders geeicht wurde. Die Stärke des dem Handregulator zugeführten Stromes wurde mittels eines Präzisionsmilliamperemeters von Siemens & Halske gemessen.

Die Lampe wurde auf einem schweren Tisch auf einem besonders kräftigen Unterbau aufgestellt und zum Schutze gegen Luftströmungen mit einem ringsherum dicht anschliefsenden, nur oben offenen, rechtwinklig-parallelepipedischen Kasten aus Pappe mit Holzversteifung von 45 cm Breite und 72 cm Höhe umgeben. In eine Längs- und eine Querwand dieses Kastens waren in Höhe des Lichtpunktes zwei rechteckige Fenster von 16 cm Höhe und 6 cm Breite geschnitten und mit herausnehmbaren, möglichst fehlerfreien Glasplatten sorgfältig verschlossen, durch welche man den Lichtbogen in zwei zu einander senkrechten Richtungen betrachten konnte.

Mittels einer achromatischen Linse von 12 cm Brennweite wurde auf einem 18 cm breiten, 40 cm hohen, mit Millimeterpapier bespannten Schirm ein etwa fünffach vergröfsertes Bild sowohl des Lichtbogens wie der Enden der beiden Kohlen entworfen. Linse und Schirm konnten in beliebiger Höhe eingestellt werden und waren, in Gleitschlitzen verschiebbar, an einem wagerechten, 1,2 m langen Arm befestigt, welcher sich um einen in der Verlängerung der Kohlenaxe liegenden senkrechten Zapfen drehte, jedoch ruhte der Schirm nicht auf dem Arm, sondern wurde von einem besonderen Fufs getragen, welcher seinerseits den Arm noch unterstützte. Die geschilderte Anordnung machte es möglich, bei beschränkten Raumverhältnissen in raschester Aufeinanderfolge von dem Lichtbogen zwei um 90^0 gegen einander verschobene Ansichten zu erhalten; bei ihrer Herstellung wurde übrigens besondre Rücksicht darauf genommen, die Drehung recht leicht und sanft geschehen zu lassen, um selbst kleine Erschütterungen der Lampe, die bereits zu gröfseren Messfehlern Veranlassung geben können, zu verhüten.

Zur Erzeugung des magnetischen Feldes diente eine auf Holz gewickelte Spule mit 465 Windungen von 9 cm äußerem, 2 cm innerem Durchmesser und 7,4 cm Länge; der Drahtquerschnitt ließ vorschriftsmäßig einen Strom bis zu 6 Ampere dauernd zu. Die Spule war in einem Gestell zwischen zwei langen senkrechten Führungsleisten an einer oben über eine Rolle geführten Schnur wagerecht so aufgehängt, daß sie in ihrer Höhe dem Orte des Lichtbogens entsprechend leicht eingestellt werden konnte. Die Axe der Spule lag senkrecht zur einen und parallel zur anderen der beiden Beobachtungsaxen und ging durch die Mitte des Lichtbogens, während durch einen Anschlag am Fuß des Gestells erreicht wurde, daß der Abstand der Spule von der Kohlenaxe stets derselbe blieb.

An der Spule und der Lampe sowohl wie in deren Umgebung wurden alle Eisenteile, durch welche eine Veränderung im Kraftlinienverlauf hätte bewirkt werden können, vermieden, um eine Berechnung der Feldstärke aus der Stärke des Magnetisierungsstromes zu ermöglichen. Dieser letztere wurde von einer kleinen Sammlerbatterie mit 16 Volt Klemmenspannung geliefert, konnte durch einen Rheostaten reguliert, durch ein zweites, technisches Amperemeter gemessen und durch einen Umschalter kommutiert werden. In der Skizze bedeutet I den Lampenstromkreis, II den Magnetisierungsstromkreis, ferner A ein Amperemeter, M die Magnetisierungsspule, R den Regulierwiderstand, S einen Ausschalter, U den Umschalter (Stromwender) und V das Voltmeter.

3. Meßverfahren.

Mithilfe der vorstehend beschriebenen Apparate wurde die Untersuchung folgendermaßen durchgeführt. Sobald der Lichtbogen hergestellt war, wurde er durch Entfernen der Kohlen von

Diese Werte werden von jetzt an der Kürze halber mit den Ziffern 1 bis 7 bezeichnet werden, welche sich mit den Einern der zugehörigen Stromstärken decken. Zu allen vorkommenden Zwischenwerten des Magnetisierungsstroms können die entsprechenden Feldstärken dem Schaubild entnommen werden.

Zweiter Teil.

Der nicht beeinflusste Lichtbogen.

4. Stromstärke, Spannung und Bogenlänge.

Der Zusammenhang zwischen den gleichzeitig möglichen Werten von Lichtbogenspannung und Stromstärke ist durch eine einfache Beziehung gegeben. Bedeutet E die Netzspannung, E_1 die Spannung an den Elektroden des Lichtbogens, W den Widerstand des dauernd vorgeschalteten Ballasts, W_1 den scheinbaren Widerstand des Lichtbogens und J die Stromstärke, so ist

$$W_1 = \frac{E_1}{J}, \quad E = J\,(W + W_1), \quad \text{mithin}$$

$$J = \frac{E - E_1}{W};$$

da nun E=const. und W=const. war, so stellt die Funktion $E_1 = f(J)$ eine grade Linie dar, welche die Ordinatenaxe im Abstand E, die Abszissenaxe im Abstand $\frac{E}{W}$ vom Anfangspunkt schneidet; folglich ist unter solchen Umständen der scheinbare Widerstand des Lichtbogens eine vorgelegte Grösse. Unter dieser Vor-

ausſetzung entſprechen ſich folgende Werte von Spannung und Stromſtärke unabhängig von der Art der gewählten Elektroden:

Tab. 3.

E_1	44,2	64,0	73,7	83,5	93,2	103,0	113,0	122,5	132,0	141,5	151,0
J	9,0	8,0	7,5	7,0	6,5	6,0	5,5	5,0	4,5	4,0	3,5

Die zu dieſen Spannungen und Stromſtärken gehörigen Lichtbogenlängen wurden folgendermaſsen gefunden. Aus der wahren, mit der Schublehre gemeſſenen Kohlendicke D, der ſcheinbaren (weil in der Vergröſserung auf dem Koordinatenpapier abgezählten) Kohlendicke d und der ſcheinbaren Bogenlänge l erhält man die wirkliche Bogenlänge L durch die Beziehung $L = l \cdot D : d$. Indem für jede einzelne Spannung in beiden Beobachtungsrichtungen aus mehreren Meſſungen die mittleren Bogenlängen L_1 bezw. L_2 und aus dieſen wieder die Mittelwerte berechnet wurden, ergaben ſich folgende Zahlenwerte: (Tab. 4).

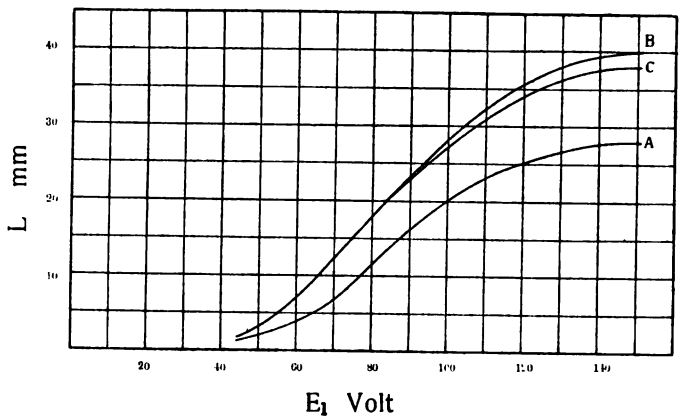
Die Werte der verſchiedenen Verſuchsreihen, welche einunderſelben Gruppe angehören, ſtimmen ſo gut zu einander, daſs aus ihnen für die betreffende Gruppe wieder Mittelwerte gebildet werden konnten, welche in der Tabelle mit aufgeführt ſind. Die eingeklammerten Zahlen darin ſtellen nicht Ergebniſſe unmittelbarer Meſſungen dar, ſondern ſind nachträglich den die Funktion $L = f(E_1)$ darſtellenden Schaulinien (ſ. f. Abſchn.) entnommen und nur der Vollſtändigkeit halber in die Reihe der aus den Meſſungen gefundenen Durchſchnittswerte aufgenommen worden.

Tab. 4.

E_1	L mm												
	I	II	III	IV	Mittel A	V	VI	VII	Mittel B	VIII	IX	X	Mittel C
44,2	—	—	—	—	(1,2)	—	1,64	—	1,64	—	—	—	(1,5)
64,0	4,9	5,1	4,9	5,1	5,0	8,9	9,0	9,1	9,0	9,3	8,8	8,9	9,0
73,7	8,6	8,4	8,3	8,7	8,5	14,6	14,4	14,5	14,5	14,3	14,6	14,6	14,5
83,5	13,3	13,6	13,7	13,4	13,5	20,2	19,9	19,9	20,0	19,9	20,3	19,8	20,0
93,2	17,5	17,4	17,5	17,6	17,5	25,1	25,0	25,0	25,0	24,7	24,6	24,2	24,5
103,0	21,1	20,9	20,9	21,1	21,0	29,4	29,3	29,8	29,5	28,5	28,6	28,4	28,5
113,0	—	—	24,2	23,8	24,0	—	—	33,5	33,5	—	—	—	(32,0)
122,5	25,7	25,3	—	—	25,5	—	35,8	36,2	36,0	—	—	—	(34,5)
132,0	—	—	27,0	—	27,0	—	38,3	38,7	38,5	—	—	—	(36,5)
141,5	—	—	—	—	(28,0)	39,5	—	—	39,5	—	—	38,0	38,0
151,0	—	—	—	—	(28,0)	—	—	—	(40,0)	37,9	38,2	—	38,0

5. Kohlenart und Bogenlängen.

Mit Rückſicht auf die eben erwähnte günſtige Übereinſtimmung zwiſchen den Werten der verſchiedenen Verſuchsreihen einer Gruppe ſind im Schaubild nicht für ſämtliche zehn Verſuchsreihen,



ſondern nur für ihre drei Gruppen die Ergebniſſe aufgezeichnet. Aus ihnen läßt ſich folgendes entnehmen: Wenn ſowohl die poſitive wie die negative Elektrode Homogenkohlen ſind, ſo iſt die

Bogenlänge immer am kleinsten; sie steigt ganz bedeutend (etwa um $^{3}/_{7}$ der vorigen), wenn beide Elektroden Dochtkohlen sind. Wenn nur die Anode eine Dochtkohle, die Kathode dagegen eine Homogenkohle ist, so läßt sich zwischen dieser Gruppe und der vorhergehenden für die kleineren Spannungen überhaupt kein Unterschied wahrnehmen, und für die höheren Spannungen erreicht die Abweichung auch nur einen geringen Betrag.

Dies steht im Einklang mit der Tatsache,[32] daß das Spannungsgefälle im Lichtbogen von der Natur der zwischen den Elektroden entwickelten Gase abhängt und zwar derart, daß es kleiner ist, wenn diesen Gasen Dämpfe flüchtiger Metallsalze beigemengt sind; daher bedingt diejenige Elektrode, die solche leichter verdampfende Bestandteile enthält — hier die Dochtkohle — und infolgedessen zunächst hauptsächlich für die Bildung der Gasstrecke inbetracht kommt, bei kleineren Bogenlängen den Spannungsabfall im Lichtbogen ganz allein, während das der anderen Elektrode entstammende Gas erst bei größeren Bogenlängen zur Geltung kommt, dann nämlich, sobald diese Elektrode von jenen Gasen nicht mehr erreicht wird.[34]

Nun führte andrerseits ursprünglich folgender Umstand dazu, die positive Homogenkohle durch eine Dochtkohle zu ersetzen: während der Lichtbogen auf der Spitze der negativen Kohle meist ruhig und in der Mitte ansetzt, wandert er auf der positiven Kohle immer längs der Kraterwand hin und her und neigt zu plötzlichem Erlöschen. Dieses letztere tritt naturgemäß um so leichter ein, je flacher der Krater ist, also, da mit wachsender Bogenlänge die Kratertiefe abnimmt,[30] je mehr die Lichtbogenspannung gesteigert wird. In Erwägung beider Tatsachen wurde die Ausführung einer vierten Gruppe von Versuchsreihen mit

einander auf eine bestimmte Spannung E_1 mit der dieser entsprechenden höchsten Stromstärke J eingestellt und mußte nun zunächst mindestens eine halbe Stunde lang brennen, wobei der Kohlenabstand mittels der Handschraube unablässig nachreguliert wurde; die Wichtigkeit der Erfüllung dieser Bedingung hat bereits Frau Ayrton eingehend begründet.[28] Nachdem nunmehr angenommen werden durfte, daß die Kohlen einen Dauerzustand angenommen hätten, wurde auf dem Schirm für die eine Beobachtungsrichtung die scheinbare Länge l_1 des Lichtbogens und der scheinbare Durchmesser d_1 der Kohlen durch Abzählen auf dem Koordinatenpapier bestimmt und die gleiche Ermittelung in der um 90^0 gedrehten Stellung von Linse und Schirm für l_2 und d_2 angestellt. Als Bogenlänge ist dabei nach dem Vorgang von Frau Ayrton[29] stets der Abstand zwischen der Spitze der negativen und dem äußersten Rand der positiven Kohle (in der Projektion) angesehen worden, also ohne Berücksichtigung des in der letzteren befindlichen Kraters, dessen mehr oder minder große Tiefe übrigens auf die Spannung zwischen den Kohlen keinen Einfluß hat.[30]

Je sechs oder mehr derartiger Doppelmessungen, die nach einander bei verschiedenen Spannungen zwischen 44,2 Volt und 151,0 Volt gemacht wurden, bildeten eine Versuchsreihe, und von solchen Versuchsreihen wurden, unter Anwendung immer andrer Kohlenarten und -zusammenstellungen, im ganzen zehn aufgenommen, welche drei, hinsichtlich der Kohlenart unterschiedene Gruppen bilden:

Tab. 1.

Gruppe	Reihe	Posit. Elektrode	Durchm. mm.	Negat. Elektrode	Durchm. mm
A	I	homogen	8,2	homogen	8,2
	II	„	10,0	„	10,0
	III	„	12,1	„	12,1
	IV	„	12,1	„	8,2
B	V	gedochtet	5,0	gedochtet	5,0
	VI	„	13,0	„	13,0
	VII	„	13,0	„	5,0
C	VIII	„	13,0	homogen	12,1
	IX	„	13,0	„	8,2
	X	„	14,8	„	8,2

Zehn weitere Verſuchsreihen, welche bei Stromſtärken von 5,5 bis 8,0 Amp. aufgenommen wurden, dienten dazu, die Stärke des Lichtbogenkerns — ſcheinbare Gröſse s_1 in der einen, s_2 in der anderen Beobachtungsrichtung — feſtzuſtellen. Hierbei ſei bemerkt, daſs, obwohl ſich das Verhalten eines jeden der beiden deutlich unterſchiedenen Beſtandteile, des bläulichen Kerns, in welchem man die eigentliche Strombahn zu ſehen hat, und der gelblich-grünen Hülle oder „Aureole", mit den elektriſchen und mechaniſchen Gröſsen ändert, dennoch nur der eine von ihnen, der Kern, eingehend beobachtet wurde, weil ſich bei ihm allein eine dauernde Einſtellung auf ſcharfe Umriſſe bewirken lieſs, wogegen die Hülle ſich in fortwährender, unregelmäſsig flackernder Bewegung befand und den Kern nur gleichſam umſpielte.

Auch zwiſchen je zwei Doppelmeſſungen lag ein Zeitraum von einer halben Stunde oder mehr, um den Kohlen Zeit zu laſſen, ſich unter Änderung ihrer Form den neuen Spannungs- und Strombedingungen anzupaſſen.

LIBRARY OF THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA 19

Während die erste Abteilung gewissermaßen nur Vorversuche enthält, indem ihr Zweck ist, über später benötigte Beziehungen zwischen den elektrischen und mechanischen Größen zu unterrichten, umfaßt die zweite Abteilung die eigentlichen Untersuchungen des magnetisch beeinflußten Lichtbogens. Hier wurde nun folgendermaßen verfahren: Genau wie früher zunächst wurden für eine bestimmte Spannung die Größen l_1 und d_1 abgezählt, darauf wurde der Magnetisierungsstrom, welcher bereits vor der Erzeugung des Lichtbogens auf die niedrigste Stufe einreguliert war, eingeschaltet.

Unter der Wirkung des entstandenen Feldes ändert sich der Lichtbogen in dreierlei Weise: er erfährt eine seitliche Ausbiegung in einer zur Kraftrichtung senkrechten Ebene (wodurch er also bei unverändertem Kohlenabstand an Bogenlänge gewinnt), zweitens nimmt der Kernquerschnitt eine längliche Form an und drittens steigt die Spannung an den Elektroden. Als seitliche Ausbiegung f_1 sei der Abstand des am weitesten abgelenkten Punktes der Kernaxe von der Kohlenaxe, als Zusammenziehung f_2 die Abnahme der Kerndicke in der Ebene senkrecht zur Richtung der Ausbiegung bezeichnet, wobei unter f_1 und f_2 die auf dem Koordinatenschirm gemessenen Größen verstanden sind. — Die Größe f_1 wurde als Mittelwert der Ablenkungen der beiden Kernränder ermittelt, die neue Lichtbogenspannung E_1' wurde durch das Voltmeter angezeigt. Die in der ersten Abteilung gefundenen Größen l und E_1 wurden auch hier noch einmal gemessen und so einer Nachprüfung unterworfen, die Größe d als Vergleichsmaß wurde jedesmal bestimmt. Diese im ganzen acht Messungen wurden — immer unter Einschaltung eines längeren Zeitraumes für die Formung der Kohlenenden — für sieben verschiedene magnetische

Feldstärken, für fünf verschiedene Spannungen und für die zehn verschiedenen Elektrodenarten angestellt.

Zur Berechnung der Feldstärke $\mathfrak{H}$, derjenigen Kraft, welche die Spule mit der Windungszahl n, der Länge l und dem mittleren Halbmesser r auf einen im Abstand a von ihrer vorderen Windungsfläche auf der Verlängerung der Spulenaxe befindlichen Einheitspol ausübt, aus der Stärke i des Magnetisierungsstromes dient die Formel:[31]

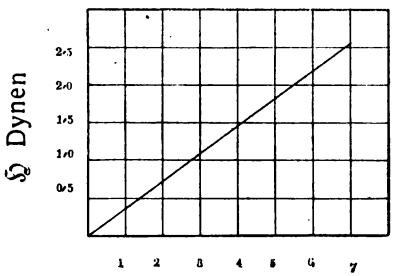
$$\mathfrak{H} = \frac{2\,\pi\,n\,i}{l}\left(\frac{a+l}{\sqrt{r^2+(a+l)^2}} - \frac{a}{\sqrt{r^2+a^2}}\right)$$

worin i in absolutem Mass einzusetzen ist. Aus den bereits im vorigen Abschnitt mitgeteilten Abmessungen der Spule und deren Entfernung a=14,8 cm vom Lichtbogen ergaben sich folgende Werte für $\mathfrak{H}=f(i)$:

Tab. 2.

i. Amp.	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0
$\mathfrak{H}$	0,365	0,730	1,10	1,46	1,82	2,19	2,55

Abb. 2.



$\mathfrak{H}$	E'_1					$\triangle E_1$				
	a	b	c	d	e	a	b	c	d	e
					Reihe II					
0,365	64,1	73,9	83,9	94,0	104,4	0,1	0,2	0,4	0,8	1,4
0,73	64,2	74,1	84.3	95,0	106,8	0,2	0,4	0,8	1,8	3,8
1,10	64,7	74,7	85,2	97,4	112,4	0,7	1,0	1,7	4,2	9,4
1,46	65,4	75,4	86,9	104.8		1,4	1,7	3,4	11,6	
1,50	—	—	—	220,0		—	—	—	126,8	
1,82	66,5	76,8	92,4			2,5	3,1	8,9		
2,00	—	—	220,0			—	—	136,5		
2,19	67,8	79,3				3,8	5,6			
2,55	70,0	220,0				6,0	146,3			
					Reihe III					
0,365	64,2	74,0	84,3	94,5	105,0	0,2	0,3	0,8	1,3	2,0
0,73	64,4	74,4	85,2	96,2	108,9	0,4	0,7	1,7	3,0	5,9
1,10	65,0	75,2	86,7	98,9	118,0	1,0	1,5	3,2	5,7	15,0
1,28	—	—	—	102,4	220,0	—	—	—	9,2	117,0
1,46	66,0	77,2	90,7	109,3		2,0	3,5	7,2	16,1	
1,64	—	—	95,6	220,0		—	—	12,1	126,8	
1,82	67,5	80,7	105,8			3,5	7,0	22,3		
2,00	—	84,1	220,0			—	10,4	136,5		
2,19	69,7	88,7				5,7	15,0			
2,37	—	96,8				—	23,1			
2,55	74,8	220,0				10,8	146,3			
					Reihe IV					
0,365	64,1	73,8	83,7	93,6	103,7	0,1	0,1	0,2	0,4	0,7
0,73	64,2	74,0	83,9	94,0	104,5	0,2	0,3	0,4	0,8	1,5
1,10	64,3	74,2	84,2	94,9	106,8	0,3	0,5	0,7	1,7	3,8
1,14	—	—	—	—	220,0	—	—	—	—	117,0
1,46	64,7	74,7	85,2	97,4		0,7	1,0	1,7	4,2	
1,82	65,2	75,7	87,1	107,7		1,2	2,0	3,6	14,5	
1,86	—	—	—	220,0		—	—	—	126,8	
2,19	66,2	77,4	94,6			2,2	3,7	11,1		
2,33	—	—	220,0			—	—	136,5		
2,55	67,4	79,8				3,4	6,1			

$\mathfrak{H}$	E'_1					$\triangle E_1$				
	a	b	c	d	e	a	b	c	d	e
	Gruppe B: Reihe V									
0,365	64,3	74,2	84,2	94,6	105,2	0,3	0,5	0,7	1,4	2,2
0,73	64,7	74,6	84,8	95,1	106,1	0,7	0,9	1,3	1,9	3,1
1,10	65,3	75,3	85,7	96,3	110,9	1,3	1,6	2,2	3,1	7,9
1,14	—	—	—	—	220,0	—	—	—	—	117,0
1,46	65,9	76,2	87,2	99,9		1,9	2,5	3,7	6,7	
1,50	—	—	—	220,0		—	—	—	126,8	
1,64	—	—	220,0			—	—	136,5		
1,82	67,5	78,4				3,5	4,7			
2,19	69,2	80,9				5,2	7,2			
2,55	71,6	84,2				7,6	10,5			
	Reihe VI									
0,365	64,3	74,0	83,9	93,8	104,1	0,3	0,3	0,4	0,6	1,1
0,73	64,6	74,4	84,4	94,4	105,3	0,6	0,7	0,9	1,2	2,3
1,10	65,0	75,2	85,9	97,1	108,6	1,0	1,5	2,4	3,9	5,6
1,14	—	—	—	—	220,0	—	—	—	—	117,0
1,46	65,4	76,5	89,4	108,2		1,4	2,8	5,9	15,0	
1,50	—	—	—	220,0		—	—	—	126,8	
1,64	—	—	220,0			—	—	136,5		
1,82	66,0	78,9				2,0	5,2			
2,00	—	220,0				—	146,3			
2,19	67,0					3,0				
2,55	68,9					4,9				
2,59	220,0					156,0				
	Reihe VII									
0,365	64,1	73,9	83,9	94,1	104,7	0,1	0,2	0,4	0,9	1,7
0,73	64,2	74,0	84,4	95,3	107,0	0,2	0,3	0,9	2,1	4,0
1,10	64,5	74,4	84,8	97,6	116,5	0,5	0,7	1,3	4,4	13,5
1,17	—	—	—	—	220,0	—	—	—	—	117,0
1,46	64,7	75,3	87,8	101,5		0,7	1,6	4,3	8,3	
1,82	65,5	76,7	90,8	111,7		1,5	3,0	7,3	18,5	
2,00	—	—	—	220,0		—	—	—	126,8	
2,19	66,4	79,0	105,8			2,4	5,3	22,3		
2,37	—	—	220,0			—	—	136,5		
2,55	67,6	84,4				3,6	10,7			

$\mathfrak{H}$	E'_1					$\triangle E_1$				
	a	b	c	d	e	a	b	c	d	e
				Gruppe C: Reihe VIII						
0,365	64,1	74,0	84,0	94,3	105,2	0,1	0,3	0,5	1,1	2,2
0,73	64,2	74,3	84,7	96,1	108,1	0,2	0,6	1,2	2,9	5,1
1,10	64,6	74,9	86,6	99,5	220,0	0,6	1,2	3,1	6,3	117,0
1,46	65,7	76,5	90,4	220,0		1,7	2,8	6,9	126,8	
1,64	—	—	100,4			—	—	16,9		
1,68	—	—	220,0			—	—	136,5		
1,82	67,8	79,3				3,8	5,6			
2,19	71,9	86,0				7,9	12,3			
2,23	—	220,0				—	146,3			
2,55	81,7					17,7				
				Reihe IX						
0,365	64,1	74,0	84,4	95,4	106,7	0,1	0,3	0,9	2,2	3,7
0,73	64,3	74,4	85,6	98,0	111,7	0,3	0,7	2,1	4,8	8,7
1,10	64,9	75,3	87,6	101,5	220,0	0,9	1,6	4,1	8,3	117,0
1,46	65,8	77,4	91,4	220,0		1,8	3,7	7,9	126,8	
1,82	68,1	81,0	97,3			4,1	7,3	13,8		
1,86	—	—	220,0			—	—	136,5		
2,19	71,2	86,9				7,2	13,2			
2,23	—	220,0				—	146,3			
2,55	74,8					10,8				
				Reihe X						
0,365	64,1	73,8	83,7	93,7	104,1	0,1	0,2	0,2	0,5	1,1
0,73	64,2	74,1	84,2	94,5	106,3	0,2	0,4	0,7	1,3	3,3
1,10	64,4	74,6	85,8	97,6	220,0	0,4	0,9	2,3	4,4	117,0
1,46	64,7	76,3	89,7	220,0		0,7	2,6	6,2	126,8	
1,64	—	—	95,8			—	—	12,3		
1,82	65,5	77,9	220,0			1,5	4,2	136,5		
2,19	66,8	80,7				2,8	7,0			
2,37	—	220,0				—	146,3			
2,55	68,9					4,9				

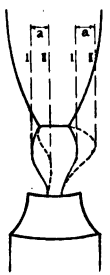
Einige Einzelheiten, welche den Schaulinien zu entnehmen sind, werden noch in den späteren Abschnitten besprochen werden.

8. Kraft und Formänderung.

Die Spannung an den Elektroden ändert sich, wie erwähnt, zugleich mit der Form des Lichtbogens: Dieser wird nach einer Seite hin ausgebogen unter gleichzeitiger Verbreiterung in der

Ebene der Ablenkung, er wird schlanker in der Ebene senkrecht zur Bewegungsrichtung und endlich nimmt er, da der Kohlenabstand derselbe bleibt, jedoch die gradlinige Strombahn in eine krummlinige übergeht, an Länge zu.

Die im 3. Abschnitt gemachten Angaben über die Messung der seitlichen Ablenkung bedürfen zunächst noch einer Ergänzung. Als Gröfse der Ausbiegung F_1 sollte die Entfernung des am weitesten abgelenkten Punktes der Kernaxe von der Kohlenaxe angesehen werden; dazu war es erforderlich, von vornherein zu bestimmen, was jedesmal unter der Kernaxe zu verstehen sei. Im vorliegenden Falle wurde nun so verfahren, dafs von jedem der beiden Ränder, welche den Lichtbogenkern begrenzen, ermittelt wurde, um wieviel ihn an der äufsersten Stelle das magnetische Feld nach der Seite trieb, und aus beiden Beträgen sollte dann der Mittelwert genommen werden. Die Messungen hatten indessen das eigentümliche Ergebnis, dafs, obwohl mit zunehmender Feldstärke der Kern in der zur Kraftrichtung senkrechten Ebene immer breiter wurde, dennoch die geometrischen Abstände der am weitesten abgelenkten Punkte des inneren und des äufseren Randes von ihren Ruhelagen stets angenähert gleich grofs waren; es war wenigstens bei den gegebenen Genauigkeitsgrenzen nicht möglich, einen etwa zu beobachtenden Unterschied zwischen beiden zahlenmäfsig zu bestimmen.



Damit fiel die Berechnung der Ausbiegung der Kernaxe von selbst fort, und es stellen in den weiter unten mitgeteilten Ergebnissen die Zahlen für F_1 ohne weiteres die einander gleichen Ablenkungen der Kernränder und der Kernaxe dar. — Die Zusammenziehung F_2 des Lichtbogens, d. i. die Abnahme der Kernstärke, wurde

Homogenkohlen als Anode, Dochtkohlen als Kathode als unwesentlich unterlassen.

Aus den drei Schaulinien ersieht man übrigens auch, dass die Kohlendicke die Lichtbogenlänge nicht besonders beeinflusst. Dazu ist allerdings zu bemerken, dass die positive Kohle in allen Fällen mindestens den gleichen, wenn nicht einen grösseren Durchmesser hatte als die negative, wie es sich bereits wegen des stärkeren Abbrandes der positiven Kohle empfiehlt, dass dagegen nicht die Anordnung einer dünnen Kohle als Anode und einer dicken als Kathode benutzt worden ist, für welche die Untersuchungen früherer Forscher eine geringere Länge des Lichtbogens ergeben haben.[32]

6. Stromstärke und Kernstärke.

Man unterscheidet im allgemeinen am Lichtbogenkern ein grosses Büschel an der oberen, positiven und ein verhältnismässig kleines an der unteren, negativen Kohle; beide Büschel erscheinen durch einen dunklen Raum getrennt. Bei längeren Lichtbögen jedoch beobachtet man durch diesen Dunkelraum hindurch einen schwach bläulichrosa leuchtenden, ziemlich dicken Faden, der das obere Büschel mit dem unteren verbindet, sodass ein zusammenhängender Lichtbogenkern entsteht. An den verschiedenen Stellen des Bogens ist der Querschnitt dieses Lichtbogenkerns mithin verschieden gross, am grössten ziemlich nahe der Anode und nach beiden Elektrodenenden hin abnehmend. In der vorliegenden Untersuchung ist, um einen bestimmten Ort festzuhalten, die Kernstärke immer an der Stelle des grössten Querschnitts gemessen worden. Aus den scheinbaren Kernstärken s_1 und s_2 (in den beiden Beobachtungsrichtungen auf dem Schirm abgelesen) wurden die wirklichen Beträge $S_1 = s_1 \, D : d$ und $S_2 = s_2 \, D : d$ berechnet und aus beiden die Mittelwerte genommen, welche sich für ver-

schiedene Stromstärken und für verschiedene Kohlenarten ergaben wie folgt:

Tab. 5.

J	S mm									
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
6,0	4,9	4,8	5,3	5,4	3,5	4,9	4,1	4,8	4,7	4,9
6,5	5,3	5,2	5,8	5,8	3,8	5,3	4,6	5,2	5,0	5,3
7,0	5,8	5.7	6,2	6,3	4,0	5,8	5,0	5,7	5,6	5,7
7,5	6,2	6,1	6,7	6.7	4,3	6,2	5,4	6.1	6,0	6,1
8,0	6,6	6,5	7,1	7,2	4,6	6,6	5,7	6,5	6,4	6,6

Wenn man S=f (J) aufzeichnete, so würde man Schaulinien von nahezu gradlinigem Verlauf und ausgehend vom Koordinatenanfangspunkt erhalten.[33] Man ersieht aber auch aus der Tabelle zur Genüge, durch welche Eigentümlichkeiten sich die Werte der einzelnen Versuchsreihen hauptsächlich unterscheiden: In der ersten Gruppe decken sich die Schaulinien je für die beiden ersten Versuchsreihen einerseits und für die beiden zweiten Versuchsreihen andrerseits beinahe vollkommen, und zwar ist bei den letzteren die Kernstärke grösser, ganz im Einklang mit dem grösseren Durchmesser der positiven Kohle. In der zweiten Gruppe zeichnet sich die erste Versuchsreihe (V), welche mit aussergewöhnlich dünnen Dochtkohlen durchgeführt wurde, durch besonders geringe Kernstärke aus, die zweite, mit Dochtkohlen von gebräuchlichem Durchmesser angestellt, stimmt wieder mit den beiden ersten Versuchsreihen der ersten Gruppe nahezu überein, und die dritte liegt, den verwendeten Kohlen durchaus entsprechend, zwischen beiden. In der letzten Gruppe endlich fallen alle drei Reihen erstens mit einander und zweitens ebenfalls mit den Reihen I und II fast völlig zusammen.

Die in diesem und dem vorigen Abschnitt gewonnenen Ergebnisse zahlenmäßig festgestellter Beziehungen werden sich im Verlauf der nun folgenden Untersuchung des durch magnetische Querkräfte beeinflußten Lichtbogens als wertvolle Hilfsmittel zur Gewinnung weiterer Aufschlüsse erweisen.

Dritter Teil.

Der Lichtbogen im Kraftfeld.

7. Kraft und Spannungsänderung.

Von den Veränderungen, welche mit dem Lichtbogen unter dem Einfluß des Kraftfeldes vor sich gehen, sei zunächst die ursprünglich als letzte genannte, der Anstieg der Elektrodenspannung, betrachtet. Es bedeute E_l die Lichtbogenspannung bei unerregter, E_l' diejenige bei erregter Magnetspule und $\Delta E_l = E_l' - E_l$ den Spannungszuwachs. Für die Größen E_l' und ΔE_l als Funktionen der magnetischen Feldstärke wurden die in der Tabelle 6 zusammengestellten Werte ermittelt; im Schaubild aufgezeichnet wurden nur die Kurven für ΔE_l, da diejenigen für E_l' sich von ihnen bloß um den jeweiligen konstanten Betrag E_l unterscheiden, und zwar, wie auch in allen späteren Fällen, immer nur für die Versuchsreihe I, weil die Kurven der übrigen Versuchsreihen einen ganz gleichartigen Verlauf haben. Der Kürze halber sind in dieser und allen folgenden Abbildungen und Tabellen die eigentlichen Lampenspannungen mit kleinen Buchstaben bezeichnet: a) $E_l = 64{,}0$, b) $E_l = 73{,}7$, c) $E_l = 83{,}5$, d) $E_l = 93{,}2$ und e) $E_l = 103{,}0$ Volt.

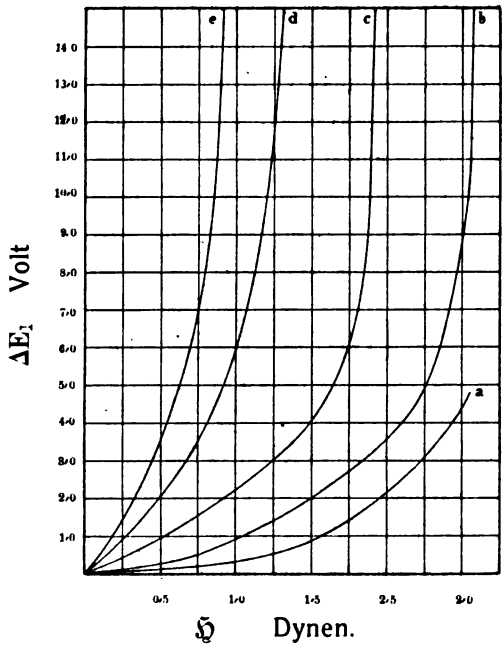


Abb. 4.

Tab. 6.

ℌ	E'₁					△E₁				
	a	b	c	d	e	a	b	c	d	e
Gruppe A: Reihe I										
0,365	64,1	73,9	84,1	94,6	105,3	0,1	0,2	0,6	1,4	2,3
0,73	64,2	74,2	85,2	96,6	109,6	0,2	0,5	1,7	3,4	6,6
1,10	64,4	74,8	86,1	100,9	220,0	0,4	1,1	2,6	7,7	117,0
1,28	—	—	—	106,7		—	—	—	13,5	
1,46	64,8	75,5	87,3	220,0		0,8	1,8	3,8	126,8	
1,64	—	—	88,4			—	—	4,9		
1,82	65,6	76,6	90,6			1,6	2,9	7,1		
2,00	—	—	220,0			—	—	136,5		
2,19	66,8	78,1				2,8	4,4			
2,55	68,8	84,4				4,8	10,7			
2,59	—	220,0				—	146,3			

LIBRARY OF THE UNIVERSITY OF

wie die Kernstärke selbst stets an der Stelle des grösten Querschnitts ermittelt.

Die Länge des durch den Einfluss der magnetischen Kräfte gekrümmten Lichtbogens lässt sich zunächst nicht messen. Hier konnte man nun auf einem Umweg so zum Ziel gelangen: Im 4. Abschnitt waren zu jeder Bogenlänge L die zugehörige Elektrodenspannung E_l, im vorigen Abschnitt die zu den einzelnen Feldstärken $\mathfrak{H}$ gehörigen gesteigerten Elektrodenspannungen gefunden worden; man konnte mithin zu jeder gesteigerten Elektrodenspannung E'_l bei abgelenktem Bogen die entsprechende

Tab. 7.

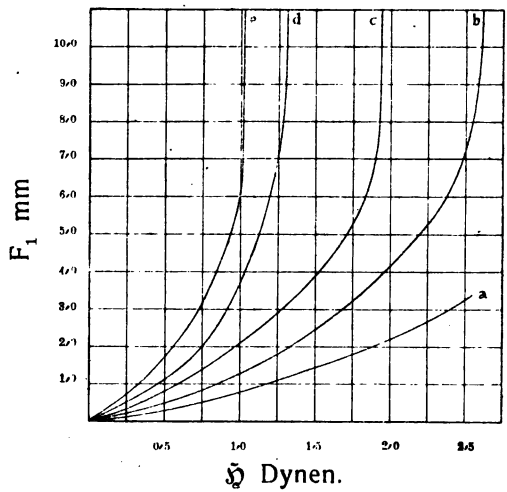
$\mathfrak{H}$	E'_l					$\triangle E_l$				
	a	b	c	d	e	a	b	c	d	e
						Gruppe A. Reihe I				
0,365	0,2	0,3	0,5	0,8	1,1	0,1	0,1	0,1	0,3	0,6
0,73	0,5	0,7	1,2	1,9	3,0	0,2	0,2	0,3	0,6	1,4
1,10	0,9	1,4	2,4	4,7	∞	0,3	0,4	0,5	1,2	4,9
1,28	—	—	—	8,2		—	—	—	2,3	
1,46	1,4	2,4	3,7	∞		0,5	0,6	0,9	5,3	
1,64	—	—	4,6			—	—	1,2		
1,82	1,9	3,4	5,8			0,7	1,1	1,9		
2,00	—	—	∞			—	—	5,8		
2,19	2,5	5,0				1,1	1,6			
2,55	3,4	8.0				1,6	2,8			
2,59	—	∞				—	6,2			
						Reihe II.				
0,365	0,2	0,3	0,5	0,7	0,8	—	—	0,1	0,1	0,3
0,73	0,4	0,7	1,1	1,5	2,1	0,1	0,1	0,2	0,3	0,7
1,10	1,1	1,5	2,1	3,0	4,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1,6
1,46	2,0	2,5	3,6	5,8	∞	0,4	0,8	1,1	1,6	4,8
1,50	—	—	—	∞		—	—	—	5,2	
1,82	2,9	3,6	5,8			0,9	1,4	1,9		
2,00	—	—	∞			—	—	5,7		
2,19	3,8	4,9				1,4	2,2			
2,55	4,8	∞				2,1	6,1			

H	F_1					F_2				
	a	b	c	d	e	a	b	c	d	e
					Reihe III.					
0,365	0,3	0,5	0,7	0,8	1,7	—	0,1	0,1	0,2	0,2
0,73	0,7	1,0	1,5	2,1	3,7	0,1	0,2	0,4	0,4	0,5
1,10	1,2	1,6	2,4	3,4	5,6	0,2	0,4	0,5	0,8	1,4
1,28	—	—	—	4,4	∞	—	—	—	1,1	5,3
1,46	1,7	2,4	3,8	6,9		0,5	0,8	1,1	1,6	
1,64	—	—	5,1	∞		—	—	1,8	5,8	
1,82	2,6	3,4	6,4			1,0	1,5	2,7		
2,00	—	4,4	∞			—	2,0	6,2		
2,19	3,8	5,6				1,6	2,5			
2,37	—	7,5				—	3,1			
2,55	5,4	∞				2,5	6,7			
					Reihe IV.					
0,365	0,1	0,2	0,3	0,4	0,7	—	–	0,1	0,1	0,3
0,73	0,2	0,4	0,7	1,1	1,9	0,1	0,1	0,1	0,2	0,7
1,10	0,6	1,0	1,5	2,6	4,0	0,2	0,2	0,3	0,8	1,6
1,14	—	—	—	—	∞	—	—	—	—	5,4
1,46	1,2	1,6	2,5	4,1		0,4	0,4	0,6	1,6	
1,82	1,9	2,3	3,9	7,0		0,7	0,9	1,2	2,7	
1,86	—	—	—	∞		—	—	—	5,8	
2,19	2,6	3,4	7,0			1,0	1,4	2,9		
2,23	—	—	∞			—	—	6,3		
2,55	3,5	5,0				1,4	2,1			
					Gruppe B. Reihe V.					
0,365	0,3	0,4	0,5	0,7	1,0	—	0,1	0,1	0,2	0,6
0,73	0,6	0,8	1,1	1,7	2,5	0,1	0,2	0,3	0,4	1,4
1,10	0 9	1,5	2,3	3,6	8,0	0,3	0,4	0,6	1,0	3,2
1,14	—	—	—	—	∞	—	—	—	—	3,5
1,46	1,3	2,3	4,4	8,5		0,7	0,8	1,2	3,2	
1,50	—	—	—	∞		—	—	—	3,8	
1,64	—	—	∞			—	—	4,0		
1,82	1,7	3,2				1,3	1,5			
2,19	2,2	4,5				2,0	2,5			
2,55	2,7	8,8				2,8	4,3			

$\mathfrak{H}$	F_1					F_2				
	a	b	c	d	e	a	b	c	d	e
					Reihe VI.					
0,365	0,2	0,4	0,6	1,0	1,5	—	0,1	0,2	0,3	0,5
0,73	0,5	0,9	1,4	2,1	3,2	0,1	0,2	0,4	0,7	1,1
1,10	1,1	1,9	2,9	4,2	6,5	0,2	0,6	1,0	1,6	2,9
1,14	—	—	—	—	∞	—	—	—	—	4,9
1,46	1,9	3,3	5,2	8,5		0,5	1,1	2,1	3,2	
1,50	—	—	—	∞		—	—	—	5,3	
1,64	—	—	∞			—	—	5,8		
1,82	2,9	6,0				0,9	2,2			
2,00	—	∞				—	6,2			
2,19	4,2					1,4				
2,55	6,0					2,5				
2,59	∞					6,6				
					Reihe VII.					
0,365	0,2	0,3	0,5	0,8	1,2	—	—	0,1	0,1	0,2
0,73	0,4	0,7	1,2	1,8	2,6	0,1	0,1	0,2	0,2	0,4
1,10	0,8	1,2	2,0	3,2	6,0	0,2	0,2	0,3	0,4	1,1
1,17	—	—	—	—	∞	—	—	—	—	4,1
1,46	1,4	2,0	3,0	5,0		0,3	0,3	0,5	0,8	
1,82	2,0	3,0	4,5	7,0		0,4	0,5	0,9	1,4	
2,00	—	—	—	∞		—	—	—	4,6	
2,19	2,6	4,0	6,5			0,6	0,9	1,9		
2,37	—	—	∞			—	—	5,0		
2,55	3,3	5,1				1,0	1,9			
					Gruppe C. Reihe VIII.					
0,365	0,3	0,5	0,8	1,3	1,6	0,1	0,1	0,2	0,3	0,7
0,73	0,6	1,0	1,7	2,8	3,9	0,2	0,3	0,4	0,8	1,6
1,10	1,1	1,7	3,1	4,5	∞	0,4	0,5	0,9	1,4	4,8
1,46	2,0	2,9	5,1	∞		0,7	1,1	2,0	5,2	
1,64	—	—	7,1			—	—	3,4		
1,68	—	—	∞			—	—	5,7		
1,82	3,3	4,4				1,1	1,9			
2,19	4,9	6,8				1,6	3,1			
2,23	—	∞				—	6,1			
2,55	6,9					2,1				

$\mathfrak{H}$	F_1					F_2				
	a	b	c	d	e	a	b	c	d	e
					Reihe IX.					
0,365	0,2	0,4	0,7	1,0	1,2	--	0,1	0,1	0,2	0,4
0,73	0,6	1,0	1,6	2,3	3,2	0,1	0,2	0,3	0,4	1,1
1,10	1,1	1,7	3,0	5,7	∞	0,2	0,4	0,8	1,2	4,7
1,46	1,8	2,8	4,9	∞		0,6	1,0	1,6	5,0	
1,82	2,6	4,1	7,6			1,1	1,7	3,0		
1,86	—	—	∞			—	—	5,6		
2,19	3,7	6,1				1,8	3,5			
2,23	—	∞				—	6,0			
2,55	5,1					2,6				
					Reihe X.					
0,365	0,2	0,4	0,7	1,3	1,9	0,1	0,1	0,2	0,3	0,5
0,73	0,4	0,9	1,5	2,9	3,8	0,2	0,3	0,4	0,8	1,4
1,10	1,1	1,7	2,8	4,6	∞	0,3	0,5	0,9	1,8	4,9
1,46	2,0	3,2	4,7	∞		0,7	1,0	1,9	5,3	
1,64	—	—	6,7			—	—	2,9		
1,82	3,2	4,7	∞			1,2	1,7	5,7		
2,19	4,8	6,6				1,9	2,8			
2,37	—	∞				—	6,1			
2,55	6,7					2,9				

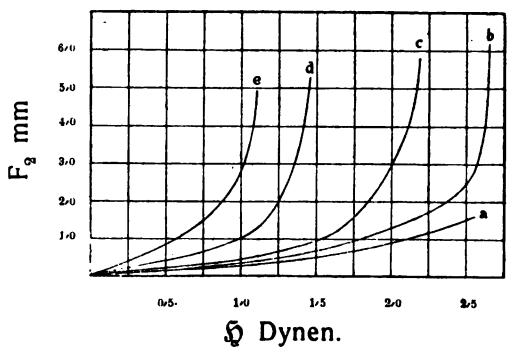
Abb. 6.



Länge L' dieses Bogens der passenden Kurve für $E_l = f(L)$ sofort entnehmen. Die so gefundenen Werte der erhöhten Lichtbogenlänge sind ebenfalls zusammengestellt und aus der Differenz zwischen ihnen und den ursprünglichen Bogenlängen die Bogenlängenzunahmen $\Delta L = L' - L$ berechnet. Die Tabellen 7 und 8 enthalten die Grössen F_1, F_2, L' und ΔL (in mm) als Funktionen der Feldstärke $\mathfrak{H}$ (in Dynen), für verschiedene Elektrodenspannungen (a bis e) und für verschiedene Kohlenarten (I bis X).

Aus der Versuchsreihe I wurden die Schaubilder für die Grössen F_1, F_2 und ΔL aufgezeichnet. Aus ihnen ist folgendes

Abb. 7.



zu entnehmen: Bei konstanter Elektrodenspannung steigt der Betrag der seitlichen Ausbiegung mit zunehmender Feldstärke zuerst allmählich, dann immer steiler an, bis endlich bei einer bestimmten Feldstärke der Lichtbogen sich nicht mehr erhalten läßt, sondern förmlich ausgeblasen wird, sodaß also $F_1 = \infty$ wird. Ganz übereinstimmenden Verlauf zeigen die Schaulinien für die Zusammenziehung als Funktion der Feldstärke. Je mehr diese letztere gesteigert wird, desto schlanker wird der Kern, um schließlich bei der Abreißfeldstärke die Dicke 0 anzunehmen; in diesem Falle

hat die Kernstärke demnach um ihren vollen, ursprünglichen Betrag, wie er im 6. Abschnitt ermittelt worden ist, abgenommen. Die Zunahme der Spannung an den Elektroden und die Länge des gekrümmten Lichtbogens verhalten sich ebenfalls ganz ähnlich; erstere steigt in dem Augenblick, wo der Bogen zerreisst, auf ihren höchsten möglichen Betrag von 220 Volt, letztere wird wie die seitliche Ausbiegung unendlich gross.

Tab. 8.

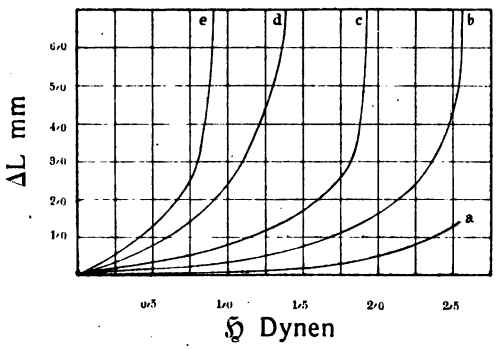
H	L'					△L				
	a	b	c	d	e	a	b	c	d	e
					Gruppe A. Reihe I.					
0,365	5,0	8,6	13,7	18,1	21,9	—	0,1	0,2	0,6	0,9
0,73	5,1	8,7	14,1	18,8	23,1	0,1	0,2	0,6	1,3	2,1
1,10	5,1	8,9	14,6	20,5	∞	0,1	0,4	1,1	3,0	∞
1,28	—	—	—	22,2		—	—	—	4,7	
1,46	5,2	9,2	15,1	∞		0,2	0,7	1,6	∞	
1,64	—	—	15,6			—	—	2,1		
1,82	5,3	9,8	16,4			0,3	1,3	2,9		
2,00	—	—	∞			—	—	∞		
2,19	5,8	10,6				0,8	2,1			
2,55	6,4	13,7				1,4	5,2			
2,59	—	∞				—	∞			
					Reihe II.					
0,365	5,0	8,6	13,6	17,9	21,6	—	0,1	0,1	0,4	0,6
0,73	5,1	8,7	13,7	18,3	22,3	0,1	0,2	0,2	0,8	1,3
1,10	5,2	8,9	14,1	19,2	23,8	0,2	0,4	0,6	1,7	2,8
1,46	5,3	9,2	14,9	21,7	∞	0,3	0,7	1,4	4,2	∞
1,50	—	—	—	∞		—	—	—	∞	
1,82	5,7	9,9	17,3			0,7	1,4	3,8		
2,00	—	—	∞			—	—	∞		
2,19	6,1	11,2				1,1	2,7			
2,55	7,1	∞				2,1	∞			

$\mathfrak{H}$	L'					△L				
	a	b	c	d	e	a	b	c	d	e
				Reihe III.						
0,365	5,1	8,6	13,7	18,1	21,8	0,1	0,1	0,2	0,6	0,8
0,73	5,1	8,8	14,1	18,7	22,9	0,1	0,3	0,6	1,2	1,9
1,10	5,2	9,1	14,7	19,8	24,9	0,2	0,6	1,2	2,3	3,9
1,28	—	—	—	21,0	∞	—	—	—	3,5	∞
1,46	5,5	10,2	16,4	23,1		0,5	1,7	2,9	4,6	
1,64	—	—	18,5	∞		—	—	5,0	∞	
1,82	6,1	11,8	22,0			1,1	3,3	7,5		
2,00	—	13,7	∞			—	5,2	∞		
2,19	7,0	15,7				2,0	7,2			
2,37	—	18,9				—	10,4			
2,55	8,9	∞				3,9	∞			
				Reihe IV.						
0,365	5,0	8,5	13,5	17,7	21,4	—	—	—	0,2	0,4
0,73	5,1	8,6	13,6	17,9	21,6	0,1	0,1	0,1	0,4	0,6
1,10	5,1	8,7	13,7	18,2	22,2	0,1	0,2	0,2	0,7	1,2
1,14	—	—	—	—	∞	—	—	—	—	∞
1,46	5,2	8,9	14,1	19,1		0,2	0,4	0,6	1,6	
1,82	5,3	9,3	15,0	22,5		0,3	0,8	1,5	5,0	
1,86	—	—	—	∞		—	—	—	∞	
2,19	5,6	10,2	18,1			0,6	1,7	4,6		
2,23	—	—	∞			—	—	∞		
2,55	6,0	11,6				1,0	3,1			
				Gruppe B. Reihe V.						
0,365	9,1	14,8	20,4	25,5	30,4	0,1	0,3	0,4	0,5	0,9
0,73	9,2	15,0	20,6	25,7	30,9	0,2	0,5	0,6	0,7	1,4
1,10	9,6	15,4	20,9	26,3	32,7	0,6	0,9	0,9	1,3	3,2
1,14	—	—	—	—	∞	—	—	—	—	∞
1,46	10,0	16,0	21,8	27,9		1,0	1,5	1,8	2,9	
1,50	—	—	—	∞		—	—	—	∞	
1,64	—	—	∞			—	—	∞		
1,82	10,9	17,2				1,9	2,7			
2,19	12,1	18,7				3,1	4,2			
2,55	13,3	20,3				4,3	5,8			

$\mathfrak{H}$	L'					$\triangle$L				
	a	b	c	d	e	a	b	c	d	e
					Reihe VI.					
0.365	9,1	14,6	20,2	25,2	29,9	0,1	0,1	0,2	0,2	0,4
0,73	9,2	14,9	20,4	25,5	30,4	0,2	0,4	0,4	0,5	0,9
1.10	9,5	15,4	21,0	26,7	31,8	0,5	0,9	1,0	1,7	2,3
1.14	—	—	—	—	—	—	—	—	—	∞
1,46	9.7	16,0	22,8	31,7	∞	0.7	1,5	2,8	6,7	
1,50	—	—	—	∞		—	—	—	∞	
1,64	—	—	∞			—	—	∞		
1,82	10,0	17,5				1,0	3,0			
2,00	—	∞				—	∞			
2,19	10,5					1,5				
2,55	11,8					2,8				
2,59	∞					∞				
					Reihe VII.					
0,365	9,0	14.6	20,2	25,3	30,1	—	0,1	0,2	0,3	0,6
0,73	9,1	14,6	20.4	25,8	30,2	0,1	0,1	0,4	0 8	1.7
1,10	9,2	14,9	20,5	26,9	34,5	0,2	0,4	0,5	1,9	5,0
1,17	—	—	—	—	∞	—	—	—	—	∞
1,46	9,2	15,4	22,0	28,7		0,2	0,9	2,0	3,7	
1,82	9,7	16,0	23,7	33,0		0,7	1,5	3,7	8,0	
2,10	—	—	—	∞		—	—	—	∞	
2,19	10,2	17,5	30,6			1,2	3,0	10,6		
2,37	—	—	∞			—	—	∞		
2,55	10.9	20,4				1,9	5,9			
					Gruppe C. Reihe VIII.					
0.375	9,0	14,6	20,2	24,9	29,3	—	0,1	0,2	0,4	0,8
0,73	9,1	14,8	20,5	25,6	30,3	0,1	0,3	0,5	1,1	1,8
1.10	9,2	15.1	21,5	26,9	∞	0,2	0,6	1,5	2,4	∞
1,46	9,8	16,0	23,3	∞		0,8	1,5	3,3	∞	
1,64	—	—	26,3			—	—	6,3		
1,68	—	—	∞			—	—	∞		
1,82	10,9	17,8				1,9	3,3			
2,19	13,8	21,1				4,8	6.6			
2,23	—	∞				—	∞			
2,55	19,1					10,1				

$\mathfrak{H}$	L'					$\triangle$L				
	a	b	c	d	e	a	b	c	d	e
					Reihe IX.					
0,365	9,0	14,6	20,4	25,4	29,7	—	0,1	0,4	0,9	1,2
0,73	9,1	14,9	20,9	26,3	31,5	0,1	0,4	0,9	1,8	3,0
1,10	9,4	15,3	21,9	27,8	∞	0,4	0,8	1,9	3,3	∞
1,46	9,8	16,5	23,7	∞		0,8	2,0	3,7	∞	
1,82	11,4	18,8	26,1			2,4	4,3	6,1		
1,86	—	—	∞			—	—	∞		
2,19	13,3	21,7				4,3	7,3			
2.23	—	∞				—	∞			
2,55	15,7					6,7				
					Reihe X.					
0,365	9,0	14.6	20,1	24,7	28,9	—	0,1	0,1	0,2.	0,4
0,73	9,1	14,7	20,4	25,0	29 7	0,1	0,2	0,4	0,5	1.2
1,10	9,1	14,9	21,0	26,1	∞	0,1	0,1	1,0	1,6	∞
1,46	9,2	15,9	22.9	∞		0,2	1,4	2,9	∞	
1,64	—	—	25,5			—	—	5,5		
1,82	9.8	16,8	∞			0,8	2,3	∞		
2,19	10,4	18,6				1,4	4.1			
2,37	—	∞				—	∞			
2,55	11,8					2,8				

Abb. 8.



Für die magnetische Auslöschung des Lichtbogens hatte Houston[19] folgende Bedingungen aufgestellt: erstens müsse die

Länge des Lichtbogens nahezu so grofs sein, wie es sich noch eben mit der Spannung verträgt, zweitens müsse die Lichtbogenspannung und die Stromstärke gröfser, als im allgemeinen üblich, sein. Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung zeigen aber deutlich, dafs diese Bedingungen nur mit grofser Einschränkung zutreffend sind; sie gelten höchstens für ganz schwache magnetische Kräfte, wie sie von Houston und den von ihm erwähnten Vorgängern angewendet worden waren. Hinreichend gesteigerte Feldstärken aber bringen auch die diesen Bedingungen nicht entsprechenden Lichtbögen zum Erlöschen, z. B. ist in Abb. 6 die Linie b für eine Bogenlänge aufgenommen, welche ungefähr gerade ein Drittel der höchsten erreichbaren Bogenlänge beträgt, und doch genügte bereits eine Feldstärke von etwas mehr als dem zwölffachen Betrage der Horizontalkomponente des Erdmagnetismus dazu, den Bogen auszublasen.

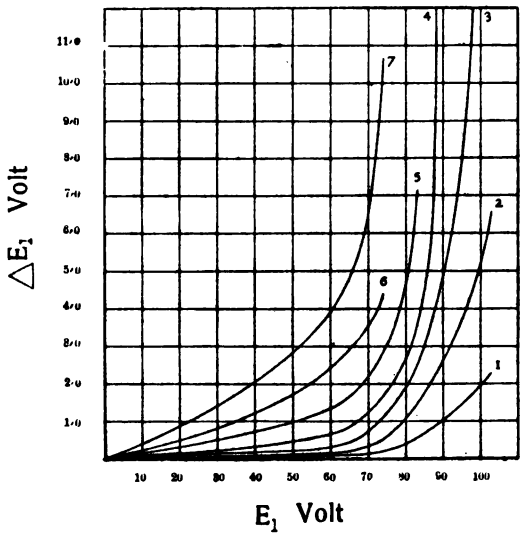
Eine weitere von Houston mitgeteilte Erscheinung, dafs die Auslöschung des Lichtbogens eher eintrat, wenn er den Nordpol als wenn er den Südpol seines nicht besonders starken Stabmagneten dem Lichtbogen näherte, fand hier ebenfalls keine Bestätigung. Dafür ist der Grund aber weniger in einem Irrtum Houstons als in der Wirkung des erdmagnetischen Feldes zu suchen, welche übrigens bereits von Casselmann[7] und Despretz[9] beobachtet worden ist. Die Gröfse dieses Einflusses wird erstens von dem Winkel abhängen, welchen die zur Kohlenaxe senkrechte Komponente des Erdfeldes mit der Richtung der auf den Lichtbogen wirkenden Kraft des künstlichen Magneten bildet, sie wird geringer sein, wenn jener Winkel 90°, bedeutender wenn er 0° beträgt, und sie wird weiter wesentlich von dem Verhältnis abhängig sein, in welchem die beiden Kräfte zu einander stehen. Im vorliegenden Falle war der Winkel zwar klein, aber das

Verhältnis der beiden Kräfte, hier der Feldstärke $\mathfrak{H}$ und der Horizontalkomponente $\mathfrak{h}$ des Erdmagnetismus, derartig, dass der Einfluss der erdmagnetischen Komponente kleiner als der erreichbare Genauigkeitsgrad blieb und bei Umkehrung des Magnetisierungsstromes die Ablenkung des Lichtbogens nach beiden Seiten hin gleich gross erschien.

9. Spannung und Bogenänderung.

Die bisherigen Tabellen und Schaubilder lassen zwar bereits deutlich erkennen, dass je nach der Lichtbogenspannung E_1 die Kurven für die mit der Feldstärke veränderlichen Grössen mehr oder minder schnell in eine zur Ordinatenaxe parallele Richtung

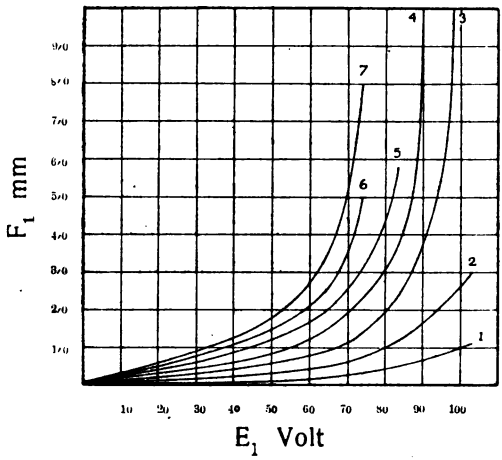
Abb. 9.



übergehen. Um jedoch diese Verhältnisse noch etwas besser zum Ausdruck zu bringen, sind in den Schaubildern 9 bis 12 für die Versuchsreihe I jene veränderlichen Grössen als Funktionen der Elektrodenspannung aufgetragen; für die übrigen Versuchs-

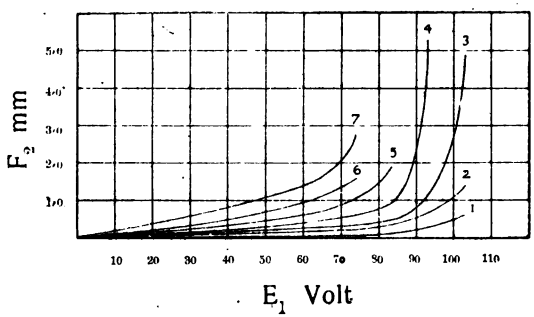
reihen würde die Aufzeichnung der Zahlenwerte, welche in den Tabellen 6 bis 8 bereits mitgeteilt sind, ganz entsprechende Kurven ergeben.

Abb. 10.



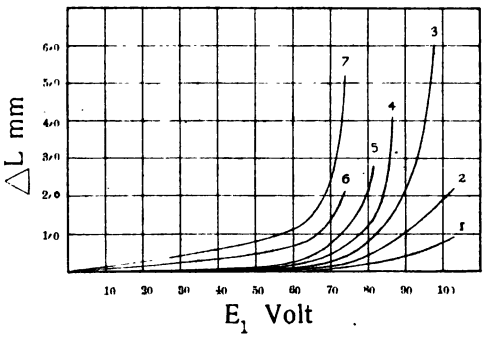
Der Verlauf dieser Schaulinien ist sehr ähnlich demjenigen, welchen die für die Abhängigkeit von der Feldstärke gezeichneten Kurven aufweisen. Mit steigender Elektrodenspannung wächst die seitliche Ausbiegung, die Kernabnahme, die Spannungszunahme und die daraus berechnete Bogenlängenzunahme anfangs

Abb. 11.



weniger, dann immer mehr, bis schliefslich bei einer bestimmten ursprünglichen Lichtbogenspannung der Bogen nicht mehr aufrecht erhalten werden kann, indem die seitliche Ausbiegung F_1 und die Bogenlänge L' unendlich grofs, die Kernabnahme F_2 gleich der ursprünglichen Kernstärke S und die Elektrodenspannung E_1 gleich der Netzspannung E wird. Dieser Grenzfall tritt natürlich um so früher ein, je gröfser die Feldstärke der Magnetisierungsspule ist (Schaulinien 1 bis 7).

Abb. 12.



10. Einfluss der Kohlenart.

Nachdem sich die Beziehungen zwischen Spannung und Bogenlänge und zwischen Stromstärke und Kernstärke in hohem Mafse als von der Art der verwendeten Elektroden abhängig erwiesen hatten, lag es nahe, einen ähnlichen Einfluss der Kohlenart auch bei den mit der magnetischen Kraft veränderlichen Gröfsen zu vermuten. Indessen fand diese Erwartung durch die Ergebnisse der Versuche keine ausreichende Bestätigung. Denn man vermag den in den Tabellen zusammengestellten Zahlenwerten, ohne dafs es einer besonderen zeichnerischen Darstellung bedarf, leicht folgendes zu entnehmen: Die Gröfse der seitlichen Ausbiegung ist in allen Versuchsreihen verschieden; am besten ist noch die Übereinstimmung in der Gruppe C, welche ihrerseits

gegenüber den beiden ersten Gruppen besonders hohe Werte aufweist. Die Zusammenziehung des Kerns dagegen zeigt sich im allgemeinen allerdings gröfser bei dünneren als bei dickeren positiven Kohlen, während die Beschaffenheit der negativen Elektrode belanglos zu sein scheint; Gruppe C enthält hier ebenfalls im grofsen ganzen höhere Werte als die Gruppen A und B. Ein Einfluss der Kohlenart auf die Gröfse von $\Delta E_\backslash$ und ΔL endlich liefs sich nicht beobachten, wenngleich auch hier wieder die dritte Gruppe sich durch hohe Werte auszeichnet.

Vierter Teil.

Ergebnis der Untersuchung.

11. Zusammenfassung.

Das Ergebnis der Voruntersuchung, welche in erster Linie den Zusammenhang zwischen Bogenlänge und Lichtbogenspannung unter der Voraussetzung eines für jeden Zustand bestimmten, fest vorgelegten scheinbaren Widerstandes zum Gegenstand hatte, war in den Abschnitten 4 und 5 in Zahlenwerten und Schaulinien zum Ausdruck gebracht worden. Allgemeiner könnte man diese Funktion $L=f(E_l)$ durch eine Gleichung wiedergeben: Wenn E die Netzspannung, J die Stromstärke, E_l die Lichtbogenspannung und W den gesamten Widerstand der Zuleitungen bis zum Lichtbogen bedeutet, und wenn in der zwischen diesen Gröfsen bestehenden Beziehung $J = \frac{E-E_l}{W}$ der Widerstand W, wie es bei den vorliegenden Versuchen der Fall war, konstant gehalten wird, so läfst sich mit guter Annäherung $E_l = a + b \cdot tg(c + d \cdot L)$ setzen; hierin sind a, b, c und d Konstanten, welche für die drei Gruppen verschieden sind und etwa folgende Werte haben:

Tab. 9.

Gruppe	a	b	c	d
A	85,0	16,8	1,60	0,110
B	84,0	19,6	1,58	0,078
C	82,0	20,6	1,58	0,082

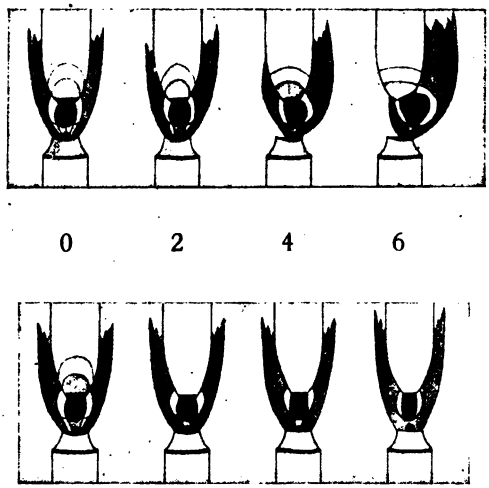
Schliefst man das Verfuchsgebiet zwifchen ein wenig engere Grenzen — etwa 64 Volt Lichtbogenfpannung als untere, 113 Volt als obere Grenze — ein, indem man berückfichtigt, dafs aufserhalb diefer Grenzen, namentlich bei den höheren Spannungen, wo der Lichtbogen bald fehr unruhig brannte, eine hinreichend genaue Meffung gleichzeitiger Werte von Spannung und Bogenlänge fchlecht zu bewerkftelligen war, fo betragen die Abweichungen der nach der empirifchen Formel berechneten von den gemeffenen Werten im allgemeinen feiten mehr als 1%, und die Schaulinien für die durch Meffung erhaltenen Werte decken fich mit den berechneten Kurven in ihrem mittleren Verlaufe faft völlig.

Für die Gröfsen F_1, F_2, ΔE_l und ΔL als Funktionen von $\mathfrak{H}$ bei unveränderlichem E_l und von E_l bei unveränderlichem $\mathfrak{H}$ dagegen liefs fich ein einfacher mathematifcher Zufammenhang nicht auffinden. Die Kurven, durch welche jene Funktionen dargeftellt werden, zeigen einerfeits zwar einen hyperbelähnlichen Verlauf, wenigftens in ihrem mittleren Teile, immerhin aber mi dem wefentlichen Unterfchied, dafs fie die eine Axe fchneiden, und find andrerfeits in ihrem Verlauf doch zu ungleichartig, als dafs fie ohne weiteres durch eine gemeinfame Gleichung wiedergegeben werden könnten.

Um indeffen von dem Wefen der Veränderungen, welche der Lichtbogen unter der Einwirkung des magnetifchen Feldes erleidet, eine deutlichere Vorftellung zu verfchaffen, find in den Abbildungen 13 und 14 mehrere Verfuchsftufen aus Gruppe C, Reihe VIII,

Spalte a und Spalte e in schematischen Darstellungen wiedergegeben. Diese Zeichnungen wurden in der Vergrößerung auf dem Schirm aufgenommen und nachträglich auf 1 : 2 bezw. 1 : 1 verkleinert. Je zwei übereinanderstehende Figuren gehören zusammen und geben das Aussehen des Lichtbogens wieder, wenn man ihn bei der gleichen Stärke des magnetischen Feldes in den beiden zu einander senkrechten Richtungen beobachtet, und zwar

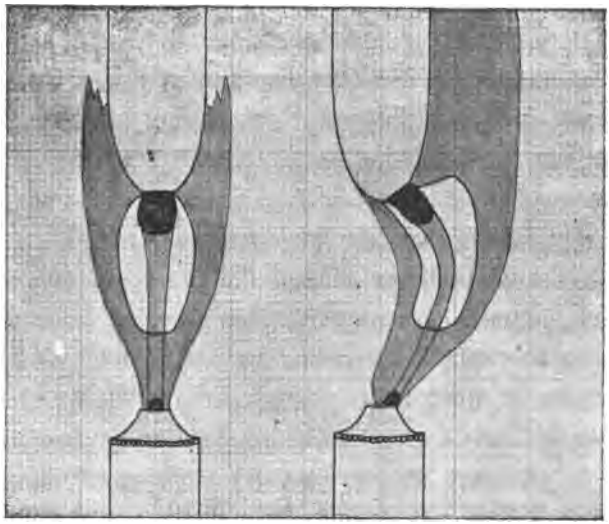
Abb. 13.

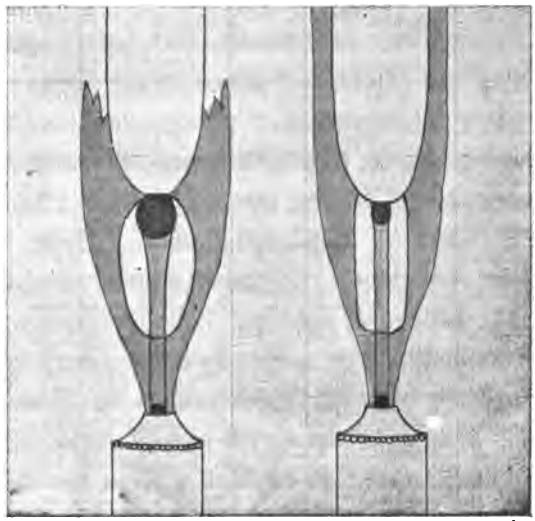


$E_1 = 64{,}0$ Volt

entsprechen in Abb. 13 die Figuren in der Reihenfolge von links nach rechts den Feldstärken 0, 2, 4 und 6 ($\mathfrak{H}=0$, $\mathfrak{H}=0{,}73$, $\mathfrak{H}=1{,}46$ und $\mathfrak{H}=2{,}19$), in Abb. 14 den Feldstärken 0 und 3 ($\mathfrak{H}=0$ und $\mathfrak{H}=1{,}10$). Diese Figuren sind natürlich etwa wie photographische Negative zu betrachten; alle Einzelheiten über Formen und Farben sind bereits in früheren Abschnitten besprochen worden.

Abb. 14.





$E_1 = 103$ Volt

12. Ungenauigkeiten und Fehler.

Da die vorliegende Unterſuchung zu dem Zweck angeſtellt wurde, ihrem Weſen nach ſchon mehrfach erkannte Beziehungen nun auch noch durch Zahlenwerte zu beſtätigen und feſtzulegen, ſo iſt eine kurze Erörterung des Anſpruchs, welchen die gewonnenen Ergebniſſe auf Genauigkeit machen dürfen, wohl am Platze. Was die durch die Art der angewendeten Meſsinſtrumente und Meſsverfahren bedingte Möglichkeit von Ableſungsfehlern anbelangt, ſo lieſsen ſich an dem Voltmeter noch Zehntelvolt, an dem Präziſionsamperemeter im Starkſtromkreiſe Hundertſtelampere, an dem techniſchen Amperemeter im Magnetiſierungsſtromkreiſe Zehntelampere abſchätzen. Berückſichtigt man dabei, daſs die abgeleſene Spannung aus der Eichkurve erſt auf ihren tatſächlichen Wert zurückgeführt werden muſste, was einen Irrtum um ein weiteres Zehntelvolt möglich machte, und daſs die unterſte Stufe der Magnetiſierungsſtromſtärke nicht nur mittels des techniſchen Amperemeters, ſondern nach einer kleinen Umſchaltung beſſer mittels des Präziſionsamperemeters vor Beginn der betreffenden Verſuchsreihe einreguliert werden konnte, ſo darf man als Genauigkeit angeben: für die Ableſungen am Voltmeter zwiſchen den Grenzen von 60 Volt bis 110 Volt rund 0,3 % bis 0,2 %, für die Ableſungen am Präziſionsamperemeter zwiſchen 1 Amp. und 8 Amp. 1 % bis 0,13 % und für diejenigen am techniſchen Amperemeter zwiſchen 2 Amp. und 7 Amp. 5 % bis 1,4 %. Auf dem Koordinatenſchirm waren alle Maſse ſicher auf 1 mm genau abzählbar, ſodaſs für Längen zwiſchen den Grenzen von 5 mm und 40 mm die Genauigkeit 4 % bis 0,5 % beträgt.

Es darf nun aber nicht überſehen werden, daſs die ganze Verſuchsanordnung als ſolche zu Fehlern Anlaſs geben kann. Der Lichtbogen iſt gegen Erſchütterungen jeder Art ſehr empfindlich;

natürlich ist es aber ausserordentlich schwer, ihn davor zu behüten, wenn man nicht eine selbstregulierende Lampe anwendet. Ferner erleidet die Regulierung von Hand während der verschiedenen Messungen eine Störung, sie muss in dieser Zeit entweder ganz aufhören oder kann wenigstens nur sehr unvollkommen durchgeführt werden; hier vermag man sich nun allerdings durch den bekannten Kunstgriff einigermassen zu helfen, dass man im Augenblick vor dem Ablesen die Regulierung ein wenig und zwar um soviel vorwärts treibt, als sie nach der Ablesung voraussichtlich zurückgeblieben sein wird.

Wirklich einwandfreie Ergebnisse indessen können nur ungefähr mit folgender Versuchsanordnung erzielt werden. Auf einem frei stehenden Grundpfeiler in einem grösseren Raum ist eine für Spannungen bis etwa 220 Volt eingerichtete selbstregulierende Lampe mit besonders langem Hub gegen jeden Luftzug geschützt aufzustellen und in jeder der beiden Beobachtungsrichtungen je ein achromatisches Linsensystem von ziemlich grosser Brennweite und je ein Koordinatenschirm ein für allemal so anzubringen, dass die Vergrösserung gerade 10:1 beträgt. Schalter, Messinstrumente und Regulierwiderstände müssen auf einem Schaltbrett in grossem Abstand von der Lampe befestigt und mit dieser durch festverlegte Leitungen verbunden werden. Die Lampe selbst ist unter Verwendung vieler verschiedener Paare von Hauptstromspulen für jede Spannung und jede Stromstärke besonders einzuregulieren; auch ist die Stromquelle so zu wählen, dass ihr bei einer Spannung von 220 Volt noch grössere Stromstärken, etwa 10 bis 20 Amp. entnommen werden können.[35]

Wenn sich nun auch dieses Ideal der Versuchsanordnung verschiedener äusserer Umstände wegen nur unvollkommen verwirklichen liess, so waren doch die Erwägungen, die zu seiner Auf-

stellung führten, auch für die Auswahl und die Herstellung der verwendeten Apparate und Hilfsmittel maßgebend; es wurde also ein besonderes Augenmerk darauf gerichtet, den Handregulator, dem vor einer technisch vollkommeneren Gleichstrombogenlampe namentlich wegen des sehr viel längeren Hubes seiner Kohlenhalter, der Verwendbarkeit für höhere Spannungen und der leichteren Einstellung auf den gewünschten Betrag der elektrischen Größen der Vorzug gegeben werden mußte, vor Erschütterungen und Luftzug zu bewahren und sehr achtsam zu regulieren.

Andrerseits wurde jede einzelne Messung mehrfach wiederholt, um die trotzdem auftretenden Fehler nach Möglichkeit auszumerzen. Damit wurde zugleich der Beseitigung von Beobachtungsfehlern Rechnung getragen, die wesentlich einer bei der Ausführung der Versuche auftretenden sehr unangenehmen Nebenerscheinung zu verdanken sind. Wie nämlich S. P. Thompson — wohl als erster — ausdrücklich betont hat,[13] erfährt die im Lichtbogen stattfindende Bildung der mehr oder minder giftigen stickstoffhaltigen Gasverbindungen eine bedeutende Steigerung, sobald der Lichtbogen mit höheren als den üblichen Spannungen von 40 bis 50 Volt betrieben wird. Dies machte sich hier deswegen besonders lästig bemerkbar, weil der Arbeitsraum während der Dauer einer Messungsreihe durchaus geschlossen gehalten werden mußte und zwar nicht nur gegen Licht, um von dem Lichtbogen auf dem Schirm ein scharf umrissenes Bild zu gewinnen, sondern auch gegen jeden Luftzug, um alle Luftströmungen von dem Lichtbogen fern zu halten, soweit dies überhaupt im Bereich der Möglichkeit liegt.

Schluss.

Das Ergebnis, zu dem die vorstehend beschriebenen Versuche geführt haben, ist ein doppeltes: Sie haben einmal gezeigt, in welchen Grösenverhältnissen sich die Beziehungen zwischen den elektrischen und mechanischen Bestimmungsstücken eines senkrechten gradlinigen Gleichstromlichtbogens einerseits und dem Betrage einer auf diesen wirkenden, quergerichteten äuseren magnetischen Kraft andrerseits bewegen, und sie haben zweitens erkennen lassen, worauf bei der Ausführung ähnlicher Versuche besonderes Gewicht zu legen ist. Nach beiden Richtungen hin aber müssen die Untersuchungen unter Berücksichtigung dieser Ergebnisse noch vielfach ausgestaltet werden. Wenn beispielsweise aus der unendlich grosen Zahl der möglichen Lichtbögen gerade alle diejenigen ausgewählt wurden, welche in einem unveränderlichen, immer an dieselbe Netzspannung gelegten Stromkreise auftreten können, so entspricht dies eigentlich nicht sowohl dem Fall, wie er bei dem üblichen Betrieb von Bogenlampen vorliegt, als vielmehr namentlich demjenigen der magnetischen Funkenlöschung bei Anlassern und Schaltern, bei welchen ja von dem Augenblick des Ausschaltens an, wo der Lichtbogen entsteht, der Widerstand in den Leitungen unverändert bleibt.

So wird es sich also in erster Linie noch darum handeln, die gleichen Untersuchungen für verschiedene konstante Spannungen und Stromstärken anzustellen. Deren Ausführung, eine Aufgabe für sich, wie auch die Erörterung mancher andrer Fragen, die hier naheliegend erscheinen möchten (z. B. nach dem Verhalten einer wagerechten oder einer krummlinigen Strombahn oder einer solchen zwischen Flammenkohlen verschiedener Art) würde den Rahmen dieser Arbeit weit überschritten haben und soll darum wie die Verwertung der hier gewonnenen Ergebnisse einer späteren Zeit vorbehalten sein.

Quellenverzeichnis.

1. E. Voit, Der elektrische Lichtbogen (Nr. 1 der „Sammlung elektrotechnischer Vorträge"). Stuttgart, F. Enke, 1896, S. 1 ff.
2. Davy, Farther researches on the magnetic phaenomena produced by electricity. Philos. Transact Royal Soc. London, 1821, S. 527.
3. [Arago], Expériences relatives á l'aimantation du fer . . . . Annales de Chimie et de Physique **15**, 1820, S. 101.
4. Davy, On the magnetic phaenomena produced by Electricity. Philos. Transact. Royal Soc. London, 1821. S. 18, Anmerkung.
5. Walker, Pogg. Ann. **54**, 1841, S. 514. — Vergl. Transact. London Electr. Society, from 1837 to 1840.
6. Daniell, Wirkungen einer grofsen konstanten Batterie. Pogg. Ann. **60**, 1842, S. 386.
7. Zaffelmann, Über einige im Kreise der Kohlenzinkkette beobachtete Lichterscheinungen. Pogg. Ann. **63**, 1844, S. 588.
8. De la Rive, Quelques recherches sur l'Arc Voltaïque . . . . Philos. Transact. 1847, pt. I, S. 37. — Vgl. Pogg. Ann. **76**, 1847, S. 280.
9. Quet, Note relative à l'action des électro-aimants sur l'arc voltaïque. Comptes rendus **34**, 1852, S. 805.

10. O. Lehmann, Die elektrischen Lichterscheinungen oder Entladungen. Halle, W. Knapp, 1898, S. 349 f.

11. S. P. Thompson, Der elektrische Lichtbogen. Ztschr. f. Elektrochemie 2, 1896, S. 592. (Vgl. Journal of the Society of Arts 43, 1895).

12. Ebenda S. 591.

13. Ebenda S. 573.

14. H. Zerener, Über die Ablenkung des elektrischen Lichtbogens durch Magnetismus und das elektrische Löten und Schweissen. Sitzungsbericht d. Vereins z. Beförder. d. Gewerbefleisses (72), 1893, S. 211. Vgl. 26. — Auch Ztschr. f. Elektrochemie 2, 1896, S. 553.

15. Jamin, Sur un brûleur et un chalumeau électriques. Comptes rendus, 88, 1879, S. 541.

16. W. B. von Lzudnochowski, Flammen- oder Effektbogenlicht. Verhdl. d. Deutschen Physikal. Ges. 5, 1903, S. 167.

17. A. Zeidler, Flammenbogenlampen und Intensivflammenbogenlampen der Allg. Elektr. Gesellschaft. Elektrot. Ztschr. 24, 1903, S. 169.

18. Plücker, Über einen neuen Gesichtspunkt, die Einwirkung des Magneten auf den elektrischen Strom betreffend. Pogg. Ann. 104, 1858, S. 622 ff.

19. Edwin J. Houston, On the Extinguishing of the Electric Light by the Approach of a Magnet. Journal of the Franklin Jnstitute of the State of Pennsylvania, IIIð series, 63, (5), 1872, S. 299 ff. — Vgl. Dinglers Polytechn. Journal 204, 1872, S. 457 ff.

20. W. Stanley, An experiment with the electric arc. Electrician 26, 1891, S. 646. — Vgl. Beiblätter z. d. Ann. d. Phyf. 15, 1891, S. 447.

21. J. D. E. Andrews, An experiment with the electric arc. Electrician 26, 1891, S. 681. — Vgl. Beiblätter z. d. Ann. d. Phyf. 15, 1891, S. 448.

22. Salomons, The Electric Discharge in a Magnetic Field. Philos. Magaz. 42, (5), 1896, S. 258.

23. Fleming, Electric Lamps and Electric Lighting. 1894, S. 153. (Die Stelle iſt nicht dieſem Werk, welches dem Verf. nicht vorlag, ſondern dem Buche der Frau Ayrton[27] entnommen).

24. Simon, Akuſtiſche Erſcheinungen am elektriſchen Flammenbogen. Ann. d. Phyſ. u. Chemie 64, 1898, S. 223.

25. E. Ruhmer, Der ſprechende elektriſche Flammenbogen und ſeine Verwendung zur drahtloſen Telephonie. Elektrot. Ztſchr. 22, 1901, S. 197.

26. B. Monaſch, Der elektriſche Lichtbogen bei Gleichſtrom und Wechſelſtrom und ſeine Anwendungen. Berlin, Jul. Springer, 1904, S. 140. (Der Verfaſſer dieſes Buches gibt auf S. 154 bei dem Vortrag von Zerener[14] als Stelle nicht die Sitzungsberichte, ſondern die Verhandlungen d. Vereins z. Beförd. d. Gewerbefl. an; den gleichen Irrtum enthält auch das Repertorium d. techn. Journallitteratur 1893, S. 294.)

27. H. Ayrton, The electric Arc. London 1902, S. 98 f.

28. Ebenda S. 100.

29. Ebenda S. 99.

30. Ebenda S. 160 f.

31. Uppenborn, Kalender für Elektrotechniker. München 1904, Teil I, S. 49.

32. J. Starck, Die Elektrizität in Gasen. Leipzig, J. A. Barth, 1902, S. 209 f.

33. Ebenda S. 155.

34. Günther Schulze, Über den Spannungsverlust im elektrischen Lichtbogen. Ann. d. Phys. u. Chemie 12, 1903, S. 828.

Es ist mir eine angenehme Pflicht, auch an dieser Stelle Herrn Prof. Dr. Wachsmuth für die Zuweisung dieser Arbeit und dem Direktor des Physikalischen Instituts, Herrn Prof. Dr. phil. et med. Matthiesen, für die Überlassung eines Arbeitsplatzes und der für die Versuche erforderlichen Hilfsmittel meinen verbindlichsten Dank auszusprechen.

LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY
OF
CALIFORNIA

UNIVERSITY OF CALIFORNIA LIBRARY,
BERKELEY

THIS BOOK IS DUE ON THE LAST DATE STAMPED BELOW

Books not returned on time are subject to a fine of 50c per volume after the third day overdue, increasing to $1.00 per volume after the sixth day. Books not in demand may be renewed if application is made before expiration of loan period.

APR 28 1927

50m-8,'26

UNIVERSITY OF CALIFORNIA LIBRARY,
BERKELEY

THIS BOOK IS DUE ON THE LAST DATE
STAMPED BELOW

Books not returned on time are subject to a fine of 50c per volume after the third day overdue, increasing to $1.00 per volume after the sixth day. Books not in demand may be renewed if application is made before expiration of loan period.

APR 23 192

30m-8,'26